UNIVERSITY
OF
TORONTO
LIBRARY

Bot.

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

Die physikalischen Eigenschaften der Laubblätter.

Gekrönte Preisschrift

von

Dr. Alfred Ursprung.

Mit 27 Figuren im Texte und 9 Tafeln.

109041
6/4/11

STUTTGART.
Verlag von Erwin Nägele.
1903.

Druck von Carl Rembold, Heilbronn a. N.

Inhaltsübersicht.

Seite

I. **Mechanische Eigenschaften** 2
A. Mechanische Eigenschaften der Laubblätter 2
1. Einiges aus der Lehre der Elasticität und Festigkeit 2
2. Die mechanischen Eigenschaften des Blattstiels 3
a. Biegungselasticität 4
b. Abreissfestigkeit 18
c. Torsionselasticität 22
3. Verhalten der Blätter in einem Windstrom von bestimmter Stärke 25
4. Mechanische Eigenschaften der Spreite 41
a. Biegungsfähigkeit 41
b. Zugfestigkeit 43
c. Schubfestigkeit 44
d. Stossfestigkeit 44
B. Direkte mechanische Schädigung der Blätter durch Wind, Regen und Hagel 48
C. Zusammenhang zwischen der mechanischen Beanspruchung und den mechanischen Eigenschaften des Blattes 52
II. **Thermische Eigenschaften** 56
A. Verhalten der Blätter gegen strahlende Wärme 56
1. Reflexion 56
2. Emission 57
3. Absorption 58
4. Diathermansie 59
B. Temperatur der Blätter 68
C. Faktoren, von denen die Temperatur abhängt 75
1. Strahlung und Leitung 75
a. Intensität der Strahlung 75
b. Einfallswinkel 78
2. Reflexionsvermögen 78
3. Absorptions- und Emissionsvermögen 79
Farbe 79
4. Spezifische Wärme 85
5. Transpiration 85
6. Gasaustausch 85
7. Taubildung 86
III. **Optische Eigenschaften** 90
A. Reflexion des Lichtes 90
B. Absorption des Lichtes und Durchleuchtung 91
Schluss 106

„Über die physikalischen Eigenschaften der Laubblätter sind bisher nur ganz vereinzelte Beobachtungen angestellt worden, und doch wäre die genaue Kenntnis ihrer mechanischen, thermischen und optischen Eigenschaften von grösster Bedeutung für das Verständnis der Beziehungen zwischen Vegetation und Klima.

Es wird daher eine Untersuchung der physikalischen Eigenschaften der Laubblätter von Pflanzen möglichst ungleichartiger Standorte gewünscht, mit besonderer Berücksichtigung der klimatischen Faktoren."

Dies ist der Wortlaut der von der Universität Basel im Jahre 1901 gestellten botanischen Preisfrage. Die vorliegende Arbeit stellt die mit dem vollen Preis bedachte Lösung dar.

Da das Laubblatt dasjenige Organ der Pflanze ist, welches die innigsten Wechselbeziehungen zu Klima und Standort zeigt, so muss die Biologie des Blattes für den Pflanzengeographen von grösstem Interesse sein.

Die Bedeutung, welche dem Auftreten verschiedener Bautypen unter verschiedenen äussern Verhältnissen zukommt, kann aber nur dann erkannt werden, wenn man weiss, welche physikalische Eigenschaften mit einer bestimmten Gestaltung des Blattes verbunden sind.

Da aber gerade über diesen grundlegenden Punkt nur wenig Positives bekannt ist und dieses Wenige sich in der Literatur zerstreut vorfindet, so musste es vor allem die Aufgabe der vorliegenden Abhandlung sein, das bereits Bekannte zu sammeln und zu ordnen. Neue Untersuchungen waren namentlich an den Stellen besonders erwünscht, an welchen sich die grössten Lücken zeigten.

Die getroffene Auswahl des zu behandelnden Stoffes geschah im Einverständnis mit dem inzwischen verstorbenen Herrn Prof. Schimper.

Zum grössten Danke bin ich Herrn Prof. Hagenbach-Bischoff verpflichtet, der mir in zuvorkommendster Weise die Apparate und die mechanische Werkstätte der physikalischen Anstalt zur Verfügung stellte und mich durch mannigfache Ratschläge in der wirksamsten Weise unterstützte.

I. Mechanische Eigenschaften.

A. Mechanische Eigenschaften der Laubblätter.

1. Einiges aus der Lehre der Elastizität und Festigkeit.

Um nicht missverstanden werden zu können, halte ich es für angezeigt, einige orientierende Bemerkungen vorauszuschicken.

Elastizität nennen wir die Kraft, mit welcher ein deformierter Körper in seine ursprüngliche Gestalt zurückstrebt.

Modul heisst in jedem Falle die Kraft, welche bei Zugrundlegung einer bestimmten Körperform eine bestimmte Deformation bewirkt.

Coefficient heisst in jedem Falle die Deformation, welche bei Zugrundlegung einer bestimmten Körperform durch eine bestimmte Kraft bewirkt wird.

Innerhalb der Grenze der vollkommenen Elastizität kehrt ein Körper nach Aufhören der deformierenden Kraft wieder vollständig in seine frühere Gestalt zurück, der Körper ist innerhalb dieser Grenze vollkommen elastisch. Ausserhalb dieser Grenze kehrt er nicht mehr vollständig zurück, er ist unvollkommen elastisch.

Ist die Deformation zu gross, so findet eine Trennung der Körperteilchen statt.

Die minimale Kraft, welche in jedem Falle eine solche Trennung bewirkt, heisst Festigkeit.[1]

Ein Körper, bei welchem die Grenze der vollkommenen Elastizität und die Festigkeit nahe bei einander liegen, heisst spröde. Ein Körper, bei welchem die Grenze der vollkommenen Elastizität und die Festigkeit weit auseinander liegen heisst geschmeidig.

Da ich oft zur Bezeichnung einer bestimmten Eigenschaft mehr als ein Wort zur Verfügung haben musste, so habe ich mich noch einiger weiterer Ausdrücke bedient, deren Definition im folgenden gegeben werden soll.

Ein Körper, der eine kleine Biegungselastizität besitzt, strebt bei einer Deformation mit nur geringer Kraft in seine ursprüngliche Lage zurück, setzt daher einer Biegung einen nur geringen Widerstand entgegen, er besitzt eine grosse Biegungsfähigkeit und einen kleinen Biegungswiderstand. Ein Körper mit den entgegengesetzten Eigenschaften besitzt eine kleine Biegungsfähigkeit und einen grossen Biegungswiderstand, er ist steif.

Ausser diesen Definitionen habe ich noch einige Gesetze anzuführen, deren Kenntnis zum Verständnis des Folgenden unerlässlich ist.

---

[1] „Festigkeit“ wird in der vorliegenden Arbeit, im Gegensatz zu vielen botanischen Abhandlungen, nur in dem eben genannten Sinne gebraucht.

Wird ein homogener, prismatischer Stab an dem einen Ende festgehalten, an dem andern durch eine senkrecht zur Längsaxe wirkende Kraft P nach unten gezogen, so findet eine Biegung statt und das Stabende senkt sich. Bei nicht zu starker Biegung findet dabei innerhalb der Elastizitätsgrenze die Beziehung statt

$$\lambda = \frac{P L^3}{3 E W} \qquad 1)$$

Hierin bedeutet λ die Senkungsgrösse oder den Biegungspfeil, P die deformierende Kraft, L die Länge des Stabes, E den Elastizitätsmodul, W das Trägheitsmoment der Querschnittfläche zur neutralen Schicht. Das Produkt EW nennt man das Biegungsmoment.

Liegt der Stab mit beiden Enden lose auf und greift die Kraft in der Stabmitte an, so gilt die Gleichung

$$\lambda = \frac{1}{16} \cdot \frac{P L^3}{3 E W} \qquad 2)$$

Wird ein an dem einen Ende befestigter, homogener cylindrischer Stab an dem andern Ende durch ein Moment P. a um einen Winkel φ tordiert, so besteht die Beziehung

$$P \cdot a = \frac{\varphi \pi R^4}{4 L} \cdot E \qquad 3)$$

Hierin bedeutet P die tordierende Kraft, a den Hebelarm, an dem sie wirkt, R den Radius des Stabes, L seine Länge, φ den Torsionswinkel.

Für die Torsion eines Hohlcylinders mit den Radien R_1 und R_2 gilt die Gleichung:

$$P \cdot a = \frac{\varphi \pi}{4 L} (R_1^4 - R_2^4) E \qquad 4)$$

Für die Torsion eines prismatischen Stabes mit rechteckigem Querschnitt, der Breite 2 b und der Höhe 2 h gilt die Gleichung

$$P \cdot a = \frac{2 \varphi b h}{3 L} (b^2 + h^2) \cdot E \qquad 5)$$

2. Die mechanischen Eigenschaften des Blattstiels.

Manche Laubblätter erscheinen uns schon im ruhenden Zustand als kühne, mechanische Konstruktionen, sobald wir nur einmal die Natur von diesem Standpunkt des Ingenieurs aus zu betrachten begonnen haben. Kommt der Wind hinzu und setzt das Blatt der einen Pflanze in lebhafte und oft äusserst starke, das einer andern in kaum nur merkbare schwingende Bewegungen, so fällt vor allem die grosse Mannigfaltigkeit der Konstruktionen auf; hier eine äusserst grosse Biegungsfähigkeit, dort eine ebenso grosse Steifheit. Es ergibt sich daher die Aufgabe, die Elastizitätsverhältnisse genauer zu untersuchen und mit dem Bau und dem Standort des Blattes in Beziehung zu bringen.

Wenn es sich darum handelt von einer Substanz die Elastizitätsverhältnisse zu studieren, so wird man sich einen geraden prismatischen Stab von einfachem Querschnitt anfertigen und den Elastizitätsmodul etwa nach Formel 1 bestimmen. Diese in der Mechanik allgemein übliche Methode versagt nun beim Blattstiel. Denn ausser den in unsern Formeln enthaltenen Grössen gibt es im lebenden Stiele noch andere, welche auf die Elastizität von Einfluss sind, nämlich den Turgor und die Gewebespannung. Besonders in den an der Stielbasis häufig vorkommenden Gelenken spielt die Turgescenz eine sehr wichtige Rolle. Der Stiel ist ferner ein äusserst unhomogener Körper und selbst die Querschnitte ändern sowohl ihre äussere Gestalt als auch den anatomischen Bau, wenn man von der Stielbasis zur Spitze fortschreitet. Meist sind die Unterschiede bedeutend und besonders an der Verwachsungsstelle mit dem Zweig nimmt der Blattstiel in der Regel eine ganz abweichende Gestalt an.

In Anbetracht der genannten Schwierigkeiten und der Kürze der mir zur Verfügung stehenden Zeit beschränkte ich mich auf eine etwas rohe Versuchsmethode, die einen Anspruch auf grosse Genauigkeit weder machen kann noch machen will, deren Vorteil aber darin besteht, dass sie auf einfachem und kurzem Wege zu einer allgemeinen Orientierung führt.

a. Biegungselastizität.

Für den Botaniker ist in erster Linie die Elastizität des mit dem Zweig verwachsenen Stiels von Interesse und nicht die des Stiels an und für sich. Die Untersuchungen erfolgten daher in der Weise, dass der Zweig, an welchem sich der zu untersuchende Stiel befand, mittelst einer Klammer so festgespannt wurde, dass der Stiel horizontal zu liegen kam oder dass, falls er Biegungen aufwies, doch die beiden Stielenden in derselben Horizontalen lagen. Die Spreite war vorher abgetrennt worden. Ein bis zwei mm innerhalb des Stielendes wurde nun ein Gewicht angehängt, das in allen Versuchen dieselbe Grösse von 2 gr hatte. Mittelst eines Horizontalmikroskopes oder bei grosser Deformation einfach mittelst einer Millimeterskala wurde die Senkung der Anhängestelle bestimmt.

Da der Stiel hauptsächlich senkrecht nach unten mechanisch beansprucht wird, so war es von Interesse zu erfahren, ob der Biegungspfeil derselbe ist, wenn die Kraft nach oben, nach unten, nach rechts und nach links wirkt oder ob sich für die verschiedenen Richtungen auch verschiedene Werte ergeben. Der Zweig wurde daher, wie schon angegeben, in eine starke Klammer mit parallelen Backen eingespannt und die Klammer selbst wieder in einem Schraubstock befestigt. Durch Drehung der Klammer war es leicht möglich, das Gewicht nach oben, unten, links und rechts wirken zu lassen, ohne an der Einspannung des Astes selbst etwas zu verändern. Oben und unten sind dabei die Richtungen, welche in der natürlichen Lage des Stiels am Baum oben und unten sind; links und rechts erhält man, wenn man sich so in den Zweig hineindenkt, dass der Kopf gegen die Zweigspitze und das Gesicht gegen den zu untersuchenden Stiel gekehrt ist. Hebelarm heisst die Distanz zwischen Stielbasis und Angriffspunkt des Gewichtes. Hebelarm und Kraftwirkung stehen senkrecht aufeinander.

Jede Belastung dauerte 1 Minute, am Ende derselben wurde die betreffende Senkung abgelesen, dann das Gewicht abgenommen und gewartet bis der Stiel entweder seine ursprüngliche Ruhelage wieder eingenommen hatte oder aber doch, falls dies nicht im Verlauf mehrerer Minuten eingetreten war, bis das Stielende sich nicht mehr bewegte; dann wurde die Klammer um 90^0 gedreht und eine neue Bestimmung vorgenommen. Dass bei grosser Senkung und bei Überschreitung der Elastizitätsgrenze von Genauigkeit keine Rede mehr sein kann, liegt auf der Hand; immerhin genügt diese Methode, um auch bei solchen Stielen wenigstens eine allgemeine Orientierung zu geben.

Die Querschnittsform und der anatomische Bau sind in der Regel an den verschiedenen Stellen des Stieles nicht gleich. Eine Orientierung über die Veränderung der Querschnittsform wurde dadurch erreicht, dass ich von Centimeter zu Centimeter je zwei zu einander senkrechte Stieldurchmesser (den horizontalen und den vertikalen) mit einem Mikrometer mass. Über die Anatomie der Stielmitte gibt häufig eine Querschnittsskizze Aufschluss.

Neben der Festigung des Stiels ist diejenige des Zweiges, dem er aufsitzt, von grösster Bedeutung; denn ist der Zweig zu schwach, so nützt der solideste Blattbau nichts. Es ist a priori zu erwarten, dass Äste, die infolge stärkerer Belaubung sowohl durch Eigengewicht, als auch durch die grössere Angriffsfläche des Windes mechanisch stärker beansprucht werden als andere, auch eine grössere Festigkeit besitzen, sei es, dass die Querschnittsfläche grösser oder zweckmässiger geformt ist, sei es, dass durch Verdickung der Zellmembranen die spezifische Festigkeit gesteigert wird. Solche Untersuchungen fallen jedoch ausserhalb des Rahmens dieser Arbeit.

In meine Messungen habe ich nur die Zweigdicke unterhalb des Blattstielansatzes aufgenommen; es wurden die Durchmesser des Zweiges in der durch Stiel und Zweig gelegten Ebene und senkrecht zu dieser Ebene bestimmt.

Ferner musste angeführt werden, ob der Stiel ursprünglich gerade oder gebogen war, ob tordiert oder nicht, ob hohl oder massiv. Auch der Winkel zwischen dem Stiel und dem Zweig (acropetaler Teil des Zweiges) wurde angegeben, ebenso der Winkel zwischen Stiel und Spreitenoberseite.

Dass zu diesen sowie zu allen übrigen Versuchen nur frisches, turgescentes Material verwendet wurde, braucht wohl kaum besonders betont zu werden.

Eine Auswahl der ausgeführten Messungen ist in Tabelle I zusammengestellt. In Tabelle II sind die Biegungsmomente ausgerechnet, ausserdem wurden noch die Inhalte der zu den untersuchten Stielen gehörigen Spreiten beigefügt. Die Bestimmung des Inhaltes erfolgte mit Hilfe eines Planimeters. Diejenigen Stiele wurden ferner mit einem Stern versehen, bei welchen das Verhältnis der Länge des Hebelarms zum Biegungspfeil unter 20 lag.

Nach Formel 1 stellt nun EW den dritten Teil der Kraft in kg dar, die notwendig ist, um bei einem Stab von der Länge 1 mm den Biegungspfeil 1 mm zu erhalten.[1] Dies würde nun, kleine Biegungen vorausgesetzt, auch bei unsern Stielen der Fall sein, wenn sie prismatisch wären und wenn Turgor und Gewebespannung keine Rolle spielen würden. Je weniger ein Stiel von diesen Forderungen abweicht, um so genauer sind die für EW berechneten Zahlen. Die nach Formel 1 berechneten Werte für die Biegungsmomente geben uns somit annähernd ein Maß für die Steifigkeit der Stiele.

Wie aus der Tabelle II hervorgeht, ist die spezifische Steifigkeit — so wollen wir die Steifigkeit pro Längeneinheit nennen — um so grösser, je länger der Stiel ist. Die Zweckmässigkeit dieses Verhaltens leuchtet ohne weiteres ein. Mit der Verlängerung des Stiels wird meist der Inhalt und folglich auch das Gewicht der Spreite grösser, der Hebelarm, an dem es wirkt, länger und daher schon im Ruhezustand das Moment der biegenden Kraft stärker; bei Wind steigern sich die Unterschiede noch wesentlich.

Man sieht ferner, dass bei gleicher Stiellänge die Stiele gefiederter Blätter[2] weniger steif sind, als die gewöhnlicher, was wieder leicht begreiflich ist, da der Hebelarm des Schwerpunktes bei einer endständigen Spreite länger oder doch zum mindesten nicht kürzer ist als der Stiel, während bei einem gefiederten Blatte der Hebelarm des Schwerpunktes sämtlicher Teilspreiten bedeutend kürzer ist als der Stiel.

Der Übersichtlichkeit wegen wurden die gefundenen Werte in Tafel VIII[3] graphisch dargestellt, indem man in einem rechtwinkligen Koordinatensystem die Stiellängen als Abszissen, die entsprechenden Biegungsmomente als Ordinaten auftrug. Die Kurve gibt uns die Beziehung zwischen Stiellänge und spezifischer Steifigkeit.

Aus dem Kurvenverlauf ist leicht zu ersehen, dass bis zu einer Stiellänge von ca. 80 mm die spezifische Steifigkeit relativ gering ist und nur zwischen engen Grenzen schwankt, mit Ausnahme von *Populus balsamifera*. Von hier weg steigt die Kurve stark an, indem die spezifische Steifigkeit bedeutend stärker zunimmt als die Stiellänge. Eine Ausnahme bilden nur die gefiederten Blätter von *Acer Negundo* und *Juglans*. Ein Stiel von 170 mm Länge ist ca. 6mal so steif, als ein solcher von 100 mm Länge und ein Stiel von *Paulownia* von 220 mm Länge ist mehr als 35mal so steif. Diese bedeutende Zunahme der spezifischen Steifigkeit dürfte eine zweckmässige Einrichtung sein gegen die mit der Verlängerung des Stieles eintretende Vergrösserung des Hebelarmes, des Spreitengewichtes und der Angriffsfläche, welche die Lamina dem Wind darbietet.

Interessant sind die Unterschiede in der Steifigkeit gleich langer Stiele, die besonders an der graphischen Darstellung in Tafel VIII b deutlich hervortreten. Es wurde hier einfach das Anfangsstück der schon genannten Kurve in vergrössertem Maßstab aufgetragen. Wenn bei Wind die Amplituden der Schwingungen, welche die Blätter mit gleich langen Stielen ausführen, nicht zu stark differieren sollen, so müssen die Blätter mit grösseren Spreiten auch steifere Stiele besitzen. Hiedurch wird der Unterschied der Biegungsmomente von *Carpinus* und *Fagus* dem Verständnis näher gerückt. In der Reihe *Betula*, *Alnus*, *Populus tremula* 9 ist mit der Zunahme der Stielsteifigkeit eine solche der Spreitenfläche von 24 bis zu 61 cm² verbunden. Wenn Stiele in ihrer Länge nur wenig abweichen, aber dennoch stark differierende Steifigkeiten besitzen, so wird dies ebenfalls oft mit Unterschieden in der Spreitenfläche parallel gehen. So ist die Spreite von *Polygonum sachaliense* beinahe 15mal so gross als die von *Hedera* 17. Die geringe Steifigkeit der *Hedera*stiele, insbesondere des 84 mm langen, mag ausserdem noch der windge-

[1] Ich habe die in der Technik gebräuchlichen Einheiten kg und mm zu Grunde gelegt.

[2] Die Blattspindel ist hier mit zum Stiel gerechnet.

[3] VIII b = Anfang von VIII a stärker vergrössert.

Tabelle I.

Nummer	Name	Richtung der Kraft, vom Zweig aus gesehen nach	Biegungspfeil in mm	Hebelarm in mm	Blattstiel			Winkel zwischen		Zweigdicke in der durch Stiel u. Zweig gelegten Ebene in mm	Zweigdicke ⊥ zu der durch Stiel u. Zweig gelegten Ebene in mm
					tordiert	gebogen	hohl	Stiel und Zweig	Stiel und Spreite		
1.	*Aesculus Hippocastanum* L.	links rechts unten oben	2.61 3.05 2.61 3.05	180	ca. 90°	nein	nein	ca. 90°	ca. 180°	ca. 7,4	
3.	*Populus nigra* L., gelbblättrige Varietät.	unten oben links rechts	7.89 10.5 12.3 13.6	50	nein	schwach	nein	ca. 65°	ca. 180°	3.46	3.36
4.	*Populus balsamifera* L.	unten oben links rechts	1.68 1.53 1.19 1.12	61	nein	nein	nein	ca. 57°	ca. 180°	6.09	6.05
5.	*Populus alba* L.	unten oben links rechts	12.6 16.2 19.8 18.0	55	nein	schwach	nein	ca. 60°	ca. 180°	3.43	3.25
6.	*Populus pyramidalis* Salisb.	unten oben rechts links	15.2 19.5 12.7 14.4	44	nein	schwach	nein	ca. 52°	ca. 180°	4.22	4.06
12.	*Acer Pseudoplatanus* L.	unten oben links rechts	4.96 5.08 3.38 3.54	167	ca. 20°	schwach	nein	ca. 75°	ca. 180°	11.30	10.36
18.	*Ilex Aquifolium* L.	unten rechts	0.04 0.02	7	nein	schwach	nein	ca. 35°	ca. 180°	4.30	3.50
27.	*Paulownia imperialis* Sieb. et Zucc.	unten rechts	2.05 2.26	225	nein	nein	ja	ca. 35°	ca. 230°	12.05	8.48

Blattstellung	Blattstieldicke ε = Entfernung von der Stielbasis in cm $\parallel$ = Stieldicke in der durch Stiel und Zweig gelegten Ebene in mm $\perp$ = Stieldicke $\perp$ zu der durch Stiel und Zweig gelegten Ebene in mm	Bemerkungen
gegenständig	ε 0 1 2 3 4 5 6 $\parallel$ 6.50 6.10 4.60 4.17 3.92 3.82 3.77 $\perp$ 9.23 6.70 4.80 4.13 3.90 3.79 3.74 ε 7 8 9 10 11 12 13 $\parallel$ 3.57 3.49 3.32 3.19 3.18 3.17 3.05 $\perp$ 3.69 3.70 3.58 3.50 3.43 3.34 3.33 ε 14 15 16 17 18 $\parallel$ 3.04 3.04 3.14 3.08 3.41 $\perp$ 3.32 3.32 3.32 3.36 3.74	In einer Entfernung von ca. 7 cm von der Stielbasis gelangen die sonst oben und unten verlaufenden Fasern infolge der Torsion auf die Seiten des Stiels. Knospe klein.
wechselständig	ε 0 1 2 3 4 5 $\parallel$ 2.20 1.66 1.95 2.47 2.80 3.35 $\perp$ 2.38 1.37 1.02 0.91 0.91 1.01	Knospe ziemlich gross.
wechselständig	ε 0 1 2 3 4 5 6 $\parallel$ 3.75 2.86 2.70 2.84 3.19 3.86 4.36 $\perp$ 6.00 2.80 2.22 2.10 2.21 2.43 2.55	Knospe ziemlich gross.
wechselständig	ε 0 1 2 3 4 5 $\parallel$ 2.43 1.96 1.90 2.03 2.15 2.45 $\perp$ 2.60 1.53 1.37 1.30 1.25 1.30	Knospe klein.
wechselständig	ε 0 1 2 3 4 $\parallel$ 1.87 1.18 1.30 1.60 2.40 $\perp$ 2.40 1.28 0.93 0.76 1.00	Knospe klein.
gegenständig	ε 0 1 2 3 4 5 6 $\parallel$ 5.70 3.81 3.28 2.95 2.84 2.79 2.79 $\perp$ 10.32 5.00 3.97 3.50 3.33 3.12 3.05 ε 7 8 9 10 11 12 13 $\parallel$ 2.80 2.91 3.03 3.00 3.07 3.00 3.02 $\perp$ 3.09 3.09 3.14 3.14 3.16 3.05 3.00 ε 14 15 16 17 $\parallel$ 3.13 3.22 3.50 3.60 $\perp$ 3.06 3.13 3.27 3.65	Knospe ganz klein.
wechselständig	ε 0 $\parallel$ 2.05 $\perp$ 2.65	
gegenständig	ε 0 2 4 6 8 10 12 $\parallel$ 10.08 6.83 6.47 6.30 6.06 5.96 5.88 $\perp$ 8.32 6.51 5.98 5.83 5.63 5.62 5.59 ε 14 16 18 20 22 $\parallel$ 5.77 5.70 5.52 5.26 5.10 $\perp$ 5.59 5.52 5.37 5.05 5.00	

Tabelle II.

Name	EW	Stiellänge in mm	Inhalt der Spreite in cm^2	Verhältnis der Länge des Hebelarmes zum Biegungspfeil
Ilex Aquifolium	5,7	7	14	175,0
Carpinus Betulus *	0,8	11	17	9,7
Fagus silvatica	3,1	11	40	37,9
Salix babylonica *	0,2	13,5	19	1,7
Populus Simoni *	1,1	15	18	7,3
Betula alba *	0,7	25	24	1,7
Alnus glutinosa	8,4	25	57	20,2
Populus tremula 9	14,3	25	61	34,2
Acer Pseudoplatanus 13	10,4	28	48	19,9
Syringa vulgaris	2,1	29	67	36,7
Hedera Helix 17 *	1,6	31	8	2,4
Polygonum sachaliense	17,3	32	115	25,4
Populus pyramidalis *	3,7	44	32	2,9
Populus nigra *	10,6	50	91	6,3
Tilia argentea *	5,1	55	—	2,5
Populus alba *	8,8	55	70	4,3
Populus tremula 7 *	4,2	57	21	1,9
Rhus Cotinus *	15,4	59	19	6,6
Populus balsamifera	90,1	61	168	36,3
Populus tremula 8 *	18,7	65	44	6,6
Ginkgo biloba *	26,7	80	62	6,2
Hedera Helix 16 *	5,3	84	9	1,1
Liriodendron tulipifera	116,7	95	142	19,4
Broussonetia papyrifera	322,2	116	176	35,9
Acer Pseudoplatanus 12	626,0	167	190	33,6
Aesculus Hippocastanum	1489,7	180	478	68,9
Acer Negundo *	102,2	181	238	4,7
Juglans regia *	488,6	212	294	16,3
Paulownia imperialis	3704,3	225	630	109,7
Ailanthus glandulosa *	6537,0	744	1344	17,7

schützten Lage und der gegen mechanische Verletzungen sichernden Wuchsform zugeschrieben werden. Die Unterschiede zwischen *Rhus, Populus tremula* und *Populus balsamifera*, zwischen *Hedera 16, Ginkgo* und *Liriodendron*, zwischen *Acer Pseudoplatanus 12, Aesculus* und *Paulownia* sind jetzt nicht mehr so überraschend. Wenn auch der eine oder andere Punkt noch dunkel bleibt, so sehen wir doch, dass ein ganz bestimmter, teleologisch wohl zu verstehender Zusammenhang besteht.

Anderseits steht zu erwarten, dass Blätter, die in Stiellänge und Stielsteifigkeit nur wenig differieren, auch annähernd gleich grosse Spreiten besitzen. Für *Carpinus, Salix* und *Populus Simoni* trifft dies tatsächlich zu.[1] Es ist leicht möglich, dass in dem stark zickzackförmigen Verlauf der Kurve die grossen Abweichungen etwas reduziert werden, wenn man die Steifigkeit nicht nur an einem Blatt bestimmt, sondern den Mittelwert von Bestimmungen an einer Anzahl von Blättern nimmt, denn es ist nicht wahrscheinlich, dass das untersuchte Blatt jeweils eine mittlere Stellung eingenommen hat. Aus Analogie mit andern Eigenschaften muss ja a priori angenommen werden, dass auch die Stielsteifigkeit einer und derselben Species nichts Konstantes ist, sondern zwischen gewissen Grenzen schwankt. Eine richtige Vorstellung über die Stielsteifigkeit verschiedener Species kann man natürlich nur erhalten bei der Vergleichung von Mittelwerten, welche wieder um so zuverlässiger sind, je grösser die Zahl der Versuche ist, aus denen sie abgeleitet wurden. Die wenigen Versuche machen es wahrscheinlich, dass im allgemeinen zwischen der Steifigkeit der verschiedenen Blattstiele eine gewisse Gesetzmässigkeit besteht und dass somit die Blätter in mechanischer Hinsicht nach bestimmten Regeln gebaut sind.

Mit einigen Worten wollen wir noch auf die scheinbar so abweichend sich verhaltenden gefiederten Blätter zu sprechen kommen. Es ist klar, dass sie infolge ihres ganz verschiedenen Baues mit den übrigen Blättern sich nicht direkt vergleichen lassen. Dies wird dann eher möglich, wenn man die Entfernung des Schwerpunktes der gesamten Spreitenfläche von der Stielbasis als Stiellänge einführt; nach meinen Berechnungen beträgt dieselbe bei dem untersuchten Blatt von *Acer Negundo* ca. 130 mm. Hängt man das Gewicht von 2 gr an dieser Stelle an, so senkt sie sich, was empirisch festgestellt wurde, um 14 mm; das entsprechende Biegungsmoment beträgt 104,6. Trägt man dasselbe mit der zugehörigen Stiellänge in die Kurve ein, so werden die Differenzen zwischen den Nachbarblättern bedeutend kleiner. Immerhin bleibt noch eine Ausnahmestellung vorhanden, zu deren teilweiser Erklärung die leichte Beweglichkeit der einzelnen Fiedern und die hiedurch bedingte Verkleinerung der Angriffsfläche bei Wind herbeigezogen werden kann.

Das relativ grosse Biegungsmoment von *Ilex* zeigt uns, dass dieses immergrüne Blatt, das den Unbilden der Witterung viel länger ausgesetzt ist und besonders auch im Winter bei starkem Schneefall in hohem Maße mechanisch beansprucht wird, durch die Ausbildung einer bedeutenden Steifigkeit sich schützt.

Von den verschiedenen Fehlerquellen, welche die Ungenauigkeit der für die Biegungsmomente berechneten Werte bedingen, besteht eine auch in der Anwendung zu starker Biegungen. Indem man nun alle jene Stiele eliminiert, bei welchen das Verhältnis der Länge des Hebelarms zum Biegungspfeil unter 20 liegt, erhält man eine zuverlässigere Punktreihe, deren einzelne Glieder durch rote Ringe gekennzeichnet sind. Die grössten Unregelmässigkeiten im Kurvenverlauf fallen jetzt weg.

Die Anwendung desselben Gewichtes bei allen Blättern geschah ursprünglich deshalb, um die Unterschiede im Widerstand der verschiedenen Stiele gegen dieselbe deformierende Kraft deutlich zu zeigen. Diese Methode erlaubte nun bei relativ schwachen Biegungen eine annähernde Bestimmung der Steifigkeit und bei den übrigen Stielen wurde wenigstens eine allgemeine Orientierung ermöglicht.

Da die mechanische Beanspruchung der Blätter durch den Wind im wesentlichen von der Grösse der Spreite abhängt, so habe ich in Tabelle III die Senkungsgrössen der Stielenden berechnet, welche durch den Spreiten proportionale Gewichte hervorgebracht werden. Die Spreitenfläche von *Carpinus* ist hiebei = 1 gesetzt.

---

[1] Eine Vergleichung zwischen *Syringa* und *Hedera* 17 ist nicht gestattet, da es sich bei *Hedera* um ein Blatt mit abnormal kurzem Stiel handelt.

Eine Betrachtung der angeführten Zahlenwerte zeigt, dass im grossen und ganzen die Enden der längsten Stiele am stärksten von der Ruhelage sich entfernen. Es muss jedoch bemerkt werden, dass auch diese Zahlen uns keine richtige Vorstellung geben können von dem Verhältnis der Amplituden, in denen sich die einzelnen Stielenden bewegen; ist doch in der Tabelle nicht berücksichtigt, dass die Spreiten selbst sich biegen oder doch durch die Biegung der Blattstiele eine schiefe Stellung einnehmen, durch welche die Angriffsfläche und somit auch die Abweichung von der Ruhelage beträchtlich reduziert wird. Es blieb ferner unberücksichtigt, dass der Winkel zwischen Stiel und Blatt auch nicht für alle Blätter derselbe ist, sondern oft ziemlich beträchtliche Differenzen zeigt. Immerhin können wir durch diese Tabelle ein, wenn auch nur angenähert richtiges Bild erhalten von dem Verhältnis der in der Natur, bei gleicher Exposition, vorkommenden Grösse der Bewegung.

Bis jetzt wurde immer nur von der Steifigkeit in einer bestimmten Richtung, nämlich nach unten gesprochen; es sind jetzt noch einige Worte hinzuzufügen über das Verhältnis der Steifigkeit desselben Stiels in verschiedenen Richtungen.

Tabelle III.

Name	Senkungs-grösse	Stiellänge	Name	Senkungs-grösse	Stiellänge
Fagus silvatica	0,68	11	*Populus alba*	51,91	55
Carpinus Betulus	1,14	11	*Populus tremula* 7	36,08	57
Salix babylonica	8,62	13,5	*Rhus Cotinus*	9,97	59
Populus Simoni	2,17	15	*Populus balsamifera*	16,58	61
Populus tremula 9	2,62	25	*Populus tremula* 8	25,38	65
Alnus glutinosa	4,15	25	*Ginkgo biloba*	46,72	80
Betula alba	20,30	25	*Liriodendron tulipifera*	40,92	95
Acer Pseudoplatanus 13	3,98	28	*Broussonetia papyrifera*	33,59	116
Syringa vulgaris	3,11	29	*Acer Pseudoplatanus* 12	55,55	167
Polygonum sachaliense	8,52	32	*Aesculus Hippocastanum*	73,34	180
Populus pyramidalis	28,58	44	*Paulownia imperialis*	76,06	225
Populus nigra	42,21	50			

Wie eine Betrachtung der Tabelle I zeigt, ist die Steifigkeit nach oben oder unten bei den einen Blattstielen grösser, bei den andern kleiner als nach links oder rechts. Die Steifigkeit in horizontaler Richtung, also nach links und rechts ist in hohem Grade von der Beschaffenheit der Stielbasis abhängig, deren Einfluss, ceteris paribus, natürlich um so grösser ist, je kürzer die Stiele sind. Die Bedeutung der Stielbasis ist gewöhnlich schon mit blossem Auge zu erkennen, denn in der Regel hängt eine kleinere Biegung nach links oder rechts zusammen mit einer Verbreiterung der Stielbasis in dieser Richtung. Das Gesagte soll an einem Beispiel erläutert werden. Es handelt sich um einen Stiel von *Populus balsamifera* von folgenden Dimensionen:

ε	0	1	2	3	4	5
$\parallel$	3,70	2,91	2,45	2,63	3,28	4,00
$\perp$	5,68	2,87	1,80	1,83	2,28	2,50

Der Hebelarm betrug 52 mm. In der Versuchsreihe I (Tabelle IV) spannte ich nun, wie das früher immer geschah, nicht den Stiel selbst, sondern den Zweig ein, in der Versuchsreihe II dagegen wurde direkt der Stiel eingeklemmt und zwar so, dass die seitlich verbreiterte Stielbasis in die Klammer zu liegen kam. Die Strecke 0 bis 1 war eingespannt, das übrige frei; der Hebelarm reduzierte sich in diesem Falle auf 42 mm. In der folgenden Tabelle sind die entsprechenden Biegungspfeile angegeben; der Einfachheit wegen wurden direkt die abgelesenen Skalenteile angeführt und die Umwandlung in mm unterlassen.

Tabelle IV.

Richtung der Kraft nach	λ in Skalenteilen I	II
unten	27	17
oben	27	19
links	27	25
rechts	28	25

Diese Zahlen zeigen, dass es der Blattstielansatz war, der bewirkte, dass die Senkung nach links und rechts nicht bedeutend grösser ausfiel als nach oben und unten.

Populus nigra, alba und *pyramidalis* bieten ferner Beispiele dafür, dass auch recht bedeutende Unterschiede zwischen den Senkungsgrössen bestehen können, je nachdem die Kraft nach oben oder unten gerichtet ist. Die Unterschiede in diesen extremen Fällen sind aber sämtlich derart, dass sie in der Richtung nach unten, in welcher ja auch das Gewicht der Spreite ständig wirkt, eine grössere Steifigkeit ergeben, sich also einer teleologischen Erklärung leicht unterziehen.

Aber nicht nur die Blätter verschiedener Species sind in mechanischer Hinsicht sehr verschieden gebaut, auch die Blätter ein und desselben Baumes weisen, in Übereinstimmung mit morphologischen Verschiedenheiten sehr bedeutende Abweichungen auf. Es sei hier vor allem auf die beiden Blätter von *Acer Pseudoplatanus* hingewiesen, welche allerdings absichtlich möglichst extrem gewählt werden. Beim kleineren Blatt beträgt das Biegungsmoment ca. 10, beim grösseren 626. Trotzdem nun die spezifische Steifigkeit des grösseren Blattes mehr als 60mal grösser ist als die des kleinern, so ist die Deformation, welche durch den Spreitenflächen proportionale Kräfte hervorgebracht wird, beim grösseren Blatt doch noch 14mal so gross als beim kleinern (Tab. III). Die Extreme liegen bei *Populus tremula* nicht so weit auseinander, wie bei *Acer Pseudoplatanus*, die Unterschiede im physikalischen Verhalten der *Populus*-blätter fielen aber in der Natur weit stärker auf. Während nämlich die für *Populus tremula* typische Beweglichkeit der Blätter bei 7 und 8 sich deutlich zeigt, indem schon der leiseste Wind das sprichwörtliche „Zittern" hervorruft, verhält sich Blatt 9 trotz der bedeutend grösseren Spreitenfläche auch bei stärkerem Wind noch ruhig. Der Baum, dem die Blätter entnommen wurden, besass eine durch Zuschneiden kugelförmig gestaltete Krone, aus welcher mehrere Sprosse hoch emporragten; letztere trugen diese morphologisch durch kürzeren, dickeren Stiel abweichenden Blätter, die auch in ihrem physikalischen Verhalten mit den typischen *tremula*-Blättern so stark kontrastierten.[1]

Um zu sehen, wie stark der Stiel durch die eigene Spreite mechanisch beansprucht wird, führte ich einige der in Tab. I angegebenen Versuche in folgender Weise aus. Zuerst wurde das Blatt mit anhaftender Spreite so eingespannt, dass die Spreitenfläche horizontal gerichtet war mit der Oberseite nach oben, dann wurde die Spreite sorgfältig abgeschnitten und die Hebung des Stielendes an einem Millimeter-Maßstab abgelesen. Da es sich um dieselben Blätter handelt wie bisher, so brauchen die Grössenverhältnisse nicht besonders angegeben zu werden.

Name	Hebung des Stielendes in mm	Gewicht der Spreite in gr
Populus alba	16	—
Betula alba	17	0,5
Acer Pseudoplatanus 12	20	5,2
Ailanthus glandulosa	242	28,9

Diese Versuche zeigen, dass schon das Gewicht der Spreite eine ganz erhebliche Deformation des Stieles hervorruft.

[1] Es ist bekannt, dass die Blätter üppig entwickelter Triebe von den übrigen Blättern des Baumes häufig abweichen.

Da ein Träger von gleichem Widerstand zur Erzeugung einer bestimmten Festigkeit eine geringere Menge von Substanz erfordert als irgend ein anderer Träger, so lag die Vermutung nahe, dass diese Trägerform, welche vom mechanischen Standpunkt aus die zweckmässigste ist, sich auch bei den mechanisch beanspruchten Blattstielen finden werde. Genauere Untersuchungen, welche sich infolge des nicht homogenen Baues des Stiels, der Einwirkung von Turgor und Gewebespannung kompliziert gestalten müssen, habe ich unterlassen. Der aus Tab. I ersichtliche, oft unregelmässige Verlauf der Dickenzunahme der Stiele von der Spitze gegen die Basis hin und die vielfach beträchtlichen Unterschiede in dieser Dickenzunahme bei verschiedenen Blättern zeigen jedoch, dass ein streng durchgeführtes Bauprinzip nicht besteht und dass, falls auch für einige Blattstiele eine Regel sich aufstellen lassen sollte, dieselbe keine Generalisierung erfahren darf.

Es wäre interessant, nicht nur das fertige Blatt zu betrachten, sondern die Stielsteifigkeit während der ganzen Entwicklung des Blattes zu verfolgen, um zu sehen ob, und in welcher Weise die Elastizität mit dem Alter sich ändert.

Im Folgenden gebe ich einen Vergleich zwischen der Steifigkeit eines Blattstiels und der eines möglichst ähnlichen Stabes aus Holz. Da sich für den Stiel die Grösse E nicht bestimmen lässt, so suchte ich durch Vergleichung der Senkungsgrössen Rückschlüsse auf die Steifigkeit zu machen. Das Stielende von *Aesculus* senkte sich um 2,61 mm. Die Senkung des Endes eines gleich langen prismatischen Stabes aus Tannenholz mit rundem Querschnitt vom Durchmesser 3,94 mm (= mittlerer Durchmesser des *Aesculus*stieles) wurde berechnet zu 0,29 mm. Ist der gleiche Stab aus Pappelholz, so beträgt die Senkung 0,64 mm. Die Senkungen wurden nach Formel 1 berechnet. Die Werte von E sind den Tabellen von Landolt und Börnstein (55) entnommen. Tanne und Pappel wurden deshalb gewählt, weil von den in diesen Tabellen angeführten Holzarten das Tannenholz den grössten, das Pappelholz den kleinsten Elastizitätsmodul besitzt. Soll für den Stab aus Pappelholz das λ denselben Wert haben wie für den *Aesculus*stiel, so muss der Stabdurchmesser 2,77 mm betragen.

Auf alle Fälle sind nun, wie schon bemerkt, nicht nur Qualität, Quantität und Anordnung der mechanischen Elemente, sondern auch der Turgor und die Gewebespannung für die Steifigkeit des Stieles von hervorragender Bedeutung. Dass Gewebespannung bei Blattstielen vorkommt, ist längst bekannt. Bei *Aralia japonica* und besonders bei *Xanthosoma violacea* konnte ich sie durch Längsspaltung sehr deutlich nachweisen. Der grosse Einfluss des Turgors ist durch Welkenlassen des Stieles ohne weiteres zu konstatieren. Während der Turgor die Biegungselastizität des Stieles entschieden bedeutend steigert, muss er die Zugelastizität in entgegengesetztem Sinne beeinflussen, da die turgescenten Wände bereits gedehnt sind und somit ein Teil der zum Zerreissen nötigen Kraft schon durch den osmotischen Druck geleistet worden ist. Eine zahlenmässige Bestimmung des Einflusses des Turgors auf die Steifigkeit kann entweder in der Weise geschehen, dass man die Senkungsgrösse des ganzen Stieles ermittelt und aus dem Elastizitätsmodul, der Quantität und Anordnung des mechanischen Gewebes die Senkung berechnet, welche bei Fehlen parenchymatischer Elemente sich ergeben würde, oder aber man bestimmt den Einfluss des Turgors direkt empirisch. Der zweiten Methode gehört bei Blattstielen entschieden der Vorzug, da die erste Methode kompliziert ist und oft nur unter gewissen Annahmen und Vernachlässigungen wird durchgeführt werden können.

Nachdem wir nun versucht haben, uns über die Grösse der Stielsteifigkeit einigermassen zu orientieren, ergibt sich die weitere Aufgabe zu untersuchen, auf welche Weise diese Steifigkeit gewonnen wird. Es wäre zu sehen, ob alle Stiele in mechanischer Beziehung nach einheitlichem Plane gebaut sind, oder ob sich vielleicht verschiedene Systeme aufstellen lassen. Ein eingehendes Studium der mechanischen Bedeutung des morphologischen und anatomischen Baues der Stiele ist nun aber eine Arbeit für sich, welche so viel Zeit fordert, dass sie nicht in die vorliegende Untersuchung mithineingezogen werden konnte. Die folgenden hierauf sich beziehenden Zeilen sind daher nur einige vorläufige Bemerkungen.

Nach Schwendener (107, pg. 156) verhalten sich viele Stiele geradezu wie biegungsfeste Stammorgane, nach pg. 161 besitzen die Blattstiele der Farnkräuter durchgehends eine subepidermale

oder doch streng peripherische Zone mechanischer Zellen und sind in hohem Grade biegungsfest. Auch die aufrechten Stiele mancher *Marsilia*-Arten sind nach pg. 163 biegungfest gebaut.

Schon die höchst mannigfaltigen Querschnittsformen, in denen uns die Blattstiele entgegentreten (Petit 85), zeigen, dass wir nicht ein einheitliches Bauprinzip finden werden, sondern dass derselbe Zweck der mechanischen Festigung auf verschiedene Weise erreicht wird. Vom morphologischen Standpunkt aus lassen sich etwa die folgenden Gruppen aufstellen.

I. Stiele mit abweichend gebauter Basis (meist durch das Auftreten von Gelenken bedingt),
II. Stiele mit nicht abweichend gebauter Basis.

Diese beiden Hauptgruppen können weiter eingeteilt werden:

A. Stiele hohl,
B. Stiele nicht hohl.

Zu jeder dieser Gruppen und bei Stielen mit abweichend gebauter Basis sowohl für letztere als für den übrigen Stiel, lassen sich nun je nach dem Stielquerschnitt folgende Unterabteilungen aufstellen:

1. Querschnitt rundlich,
2. „ viereckig,
3. „ elliptisch mit vertikaler grosser Axe,
4. „ elliptisch mit horizontaler grosser Axe,
5. „ dreieckig,
6. „ halbmondförmig, mit nach oben gekehrter konkaver Seite.

Neben dem morphologischen Bau ist nun natürlich die Grösse und Anordnung des mechanisch wirksamen Gewebes von der allergrössten Bedeutung.

Bei einem hohlen Stiel ist das mechanische Gewebe mehr oder weniger regelmässig über den ganzen Umfang des Stieles verteilt. Ist der Stiel nicht hohl, so treten die verschiedensten Anordnungen auf, von denen nur die häufigsten angeführt werden sollen.

Bei rundlichem Querschnitt sind auch die mechanischen Elemente gewöhnlich in einem Ring angeordnet, welcher mehr oder weniger von der Peripherie des Querschnittes entfernt ist und auf seiner Oberseite geschlossen oder geöffnet sein kann, unter Umständen an der Oberseite auch eingebuchtet ist.

Bei elliptischem Querschnitt zeigt auch das mechanische Gewebe in der Regel in Richtung der grossen Achse seine stärkste Entwicklung, sei es, dass es selbst die Form einer oben geschlossenen oder offenen Ellipse hat oder dass in Richtung der grossen Achse einzelne Gruppen mechanischer Zellen übereinander liegen.

Hat der Stielquerschnitt die Gestalt eines Dreiecks, so wird das mechanische Gewebe in der Regel auch in Form eines dem ersten ähnlichen Dreiecks angelegt, in welchem jedoch häufig die eine Seite nur schwach oder gar nicht entwickelt ist. In dem letzteren Falle bilden die mechanischen Elemente einen Winkel mit nach unten gekehrter Spitze.

Bei halbmondförmiger Ausbildung des Querschnitts sind auch die mechanischen Elemente meist in der Gestalt eines Halbmondes angeordnet; häufig sind aber nur die Enden und das mittlere Stück der Sichel entwickelt oder das dazwischenliegende mehr oder weniger stark reduciert.

Dass die halbmondförmigen Querschnitte sich hauptsächlich an der Blattbasis finden, ist schon vom rein mechanischen Standpunkt aus leicht teleologisch zu deuten. Da dem Blattstiel die solideste Konstruktion nichts nützt, wenn seine Befestigung am Zweig ungenügend ist, so muss natürlich auf den letztern Punkt sehr viel Gewicht gelegt werden. Es ist nun ohne weiteres einzusehen, dass durch den genannten Bau der Stielbasis ein sehr solider Zusammenhalt von Zweig und Stiel bei geringem Materialaufwand erreicht wird. Zugleich wird aber hiedurch für die notwendige Biegungsfestigkeit gesorgt und der Knospe auf einfache und wirksame Weise Schutz geboten. Nach den Untersuchungen Schwendeners (107, pg. 138) ist die Blattspur bei Palmen, Dracaenen u. a. stets stengelumfassend, auch wenn es die Blattbasis nicht ist.

Wie viel übrigens bei sichelförmigem Querschnitt die Sichelenden, selbst wenn sie hautartig dünn sind zur Steifigkeit des Stieles beitragen, mag folgendes Beispiel zeigen. Der Blattstiel von *Saxifraga crassifolia L.* ist in seinem obersten Teile rundlich, nimmt aber gegen die Basis zu sichelförmige Gestalt an. Die dünnen Sichelenden neigen dabei immer mehr und mehr zusammen, um sich schliesslich zu vereinigen, so dass die Stielbasis in einen, die Sprossachse umschliessenden Ring übergeht. Die Senkungsgrösse des intakten Stiels betrug bei 2 gr Belastung 14 Skalenteile; wurden nun die häutigen Flügel abgeschnitten, so wuchs sie bis auf 60 Skalenteile.

In Tafel I—III sind die Querschnittsbilder einiger untersuchter Stiele ausgeführt. Die Figurenerklärung gibt die notwendigen Erläuterungen. Schon eine Vergleichung der Querschnittsbilder zeigt, dass im grossen und ganzen längere Stiele dicker sind als kürzere, was natürlich in dem zunehmenden Festigkeitsbedürfnis seine teleologische Erklärung findet. Einen weit genauern, zahlenmässigen Beleg gibt ein Vergleich der Mittelwerte der einzelnen Stieldimensionen. Dieselben sind in der folgenden Tabelle angeführt. Von den 31 untersuchten Stielen war bei 18 der ⊥ Durchmesser, bei 12 der ∥ Durchmesser der grössere. Wo der ⊥ Durchmesser überwiegt, ist die Stielbasis ganz oder doch zum grössten Teil daran schuld, so dass also, mit Ausnahme der Stielbasis, der ∥ Durchmesser beinahe immer grösser ist. Nach unserer Tabelle findet allgemein eine Dickenzunahme nur dann statt, wenn die Länge des Stiels ganz bedeutend wächst; die Dickenzunahme ist der Längenzunahme also lange nicht proportional. Bei kleinen Längenunterschieden zeigt die Dicke kein regelmässiges Verhalten.

Tabelle V.

Name	Stiellänge in mm	Mittelwert der Stieldicke in mm zu der durchStiel und Zweig gelegten Ebene	⊥ zu der durchStiel und Zweig gelegten Ebene	Name	Stiellänge in mm	Mittelwert der Stieldicke in mm zu der durchStiel und Zweig gelegten Ebene	⊥ zu der durchStiel und Zweig gelegten Ebene
Ilex Aquifolium	7	2,05	2,65	*Populus tremula* 7	57	1,33	1,01
Carpinus Betulus	11	0,97	1,08	*Rhus Cotinus*	59	1,48	1,49
Fagus silvatica	11	1,33	1,69	*Populus balsamifera*	61	3,37	2,90
Salix babylonica	13,5	0,88	1,58	*Populus tremula* 8	65	2,13	1,49
Populus Simoni	15	1,12	1,45	*Ginkgo biloba*	80	1,76	2,06
Betula alba	25	1,03	1,18	*Hedera Helix* 16	84	1,15	1,11
Alnus glutinosa	25	1,89	1,92	*Liriodendron tulipifera*	95	2,35	2,14
Populus tremula 9	25	2,48	2,57	*Broussonetia papyrifera*	116	3,75	3,69
Acer Pseudoplatanus 13	28	1,90	2,69	*Acer Pseudoplatanus* 12	167	3,25	3,73
Syringa vulgaris	29	2,14	2,20	*Aesculus Hippocastanum*	180	3,77	4,10
Hedera Helix 17	31	1,00	1,05	Stiel No. 1, tordiert			
Polygonum sachaliense	32	2,06	2,37	*Aesculus Hippocastanum*[1]	220	3,74	3,63
Populus pyramidalis	44	1,67	1,27	*Acer Negundo*	181	2,14	2,20
Populus nigra	50	2,41	1,27	*Juglans regia*	212	3,02	3,08
Tilia argentea	55	1,13	1,13	*Paulownia imperialis*	225	6,24	5,83
Populus alba	55	2,16	1,56	*Ailanthus glandulosa*	744	4,63	4,18

[1] Dieser nicht tordierte Stiel hatte folgende Dimensionen:

ε	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
∥	6,34	4,65	4,11	3,89	3,68	3,62	3,58	3,54	3,60	3,46	3,37
⊥	7,32	5,13	4,32	3,92	3,72	3,71	3,38	3,24	3,25	3,30	3,16

ε	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
∥	3,11	3,43	3,36	3,13	3,14	3,28	3,42	3,68	3,84	4,24
⊥	3,03	3,00	2,89	2,99	2,95	2,89	3,02	3,13	3,51	4,30

Die Angaben für $\varepsilon = o$ fehlen leider in meinen Notizen, nichtsdestoweniger ist ersichtlich, dass bei Fehlen der Torsion der ⊥ mittlere Durchmesser nicht überwiegt.

Eine einfache Überlegung sagt uns aber auch, dass eine Steigerung der spezifischen Steifigkeit nicht notwendig mit einer Vergrösserung des Querschnittes Hand in Hand gehen muss; indem eine Vermehrung oder günstigere Lagerung der mechanischen Elemente, sowie eine Erhöhung von Turgor oder Gewebespannung dieselben Dienste leisten kann. Es dürfte sich der Mühe lohnen, eine nochmalige Betrachtung unserer Kurve vorzunehmen unter Berücksichtigung sowohl der Tabelle V des mittleren Querschnittes als unserer Querschnittskizzen.

Das abweichende Verhalten von *Ilex* (Taf. I, Fig. 1) wird auf den ersten Blick verständlich. Der Stiel hat nicht nur einen höhern und breitern Querschnitt als die Nachbarstiele, er besteht auch beinahe nur aus mechanisch wirksamen Elementen. Diese aussergewöhnlich steife Konstruktion, welche unter den untersuchten Fällen vereinzelt dasteht, dürfte im Zusammenhang stehen mit dem Überwintern der Blätter.

Der dickere und nach demselben Prinzip wie *Carpinus* (Taf. I, Fig. 2) gebaute Stiel von *Fagus* (Taf. I, Fig. 3) ist auch steifer.

Die tiefste Stelle in der Kurve nimmt *Salix babylonica* (Taf. I, Fig. 4) ein und zwar wegen der geringen Grösse des ‖ Durchmessers. Die Unterschiede der gleichlangen Stiele von *Betula* (Taf. I, Fig. 6). *Alnus* (Taf. I, Fig. 7) und *Populus tremula 9* (Taf. I, Fig. 8) erklären sich leicht aus den Stieldimensionen und die relativ grosse Steifigkeit von *Populus tremula 9*, ausserdem noch durch das reichliche Vorhandensein mechanischer Elemente. Ich halte es nicht für angezeigt, jeden Einzelfall zu besprechen, es wird genügen, noch einigen etwas abweichenden Stielen besondere Aufmerksamkeit zu schenken. *Populus balsamifera* (Taf. I, Fig. 14) verdankt seine Ausnahmestellung hauptsächlich dem grossen ‖ Durchmesser. Der bedeutende Unterschied zwischen *Aesculus* (Taf. III, Fig. 22) und *Acer Pseudoplatanus 12* (Taf. III, Fig. 21) wird nicht ganz aufgeklärt, während anderseits die geringe Steifigkeit von *Acer Negundo* (Taf. I, Fig. 23) mit seinem Bau harmoniert. *Ailanthus* zeigt bei geringerem Durchmesser grössere Steifigkeit als *Paulownia* (Taf. II, Fig. 17), weil sein Stiel compact ist, der von *Paulownia* dagegen hohl.

Es steht zu erwarten, dass in den dunkel gebliebenen Fällen Turgor und Gewebespannung im Spiele sind.

Auf den ersten Blick dürfte es vielleicht auffallen, dass die Steifigkeit weit stärker wächst als der Stieldurchmesser; diese Tatsache verliert aber, selbst bei gleichem innerem Bau ihre Unverständlichkeit, sobald man bedenkt, dass es die dritte Potenz der Höhe ist, welche bei der Biegung in Betracht kommt.

Die untersuchten Stiele gefiederter Blätter zeigen in der äusseren Querschnittsform die Gestalt der Stiele von *Aralia chinensis* (Taf. III, Fig. 24); eine Ausnahme bildet nur das Basalinternodium, bei welchem sich, wenigstens am untern Ende, die Verhältnisse umkehren. Ein deutliches Beispiel hiefür liefert *Ailanthus glandulosa* (Taf. II, Fig. 18—20). Durch den abweichenden Bau der Stielbasis wird eine solide Verbindung von Stiel und Zweig erzielt und zugleich ihre Ausbildung zu einem die Knospe schützenden Organ erleichtert.

Der Blattstiel ist, wie die Spreite symmetrisch gebaut zu einer vertikalen Ebene, welche den Stiel in zwei gleiche Hälften teilt, eine linke und eine rechte. Es liegt nun sehr nahe zu fragen, ob der Unterschied im Aufbau der Ober- und Unterseite des Stiels auch Verschiedenheiten in seiner Biegungsfähigkeit nach oben und unten nach sich zieht.

In Tab. I wurden nun bereits solche Unterschiede konstatiert. Dieselben sind aber durch die abweichend gebaute Stielbasis, die Gegenwart der in der Blattachsel sitzenden Knospe wenigstens mitbedingt, wenn nicht allein hervorgerufen. Zudem mussten die grossen Senkungen Ungenauigkeiten mit sich führen. Da die bisherige Methode somit nicht geeignet war, die kleinen Differenzen, um die es sich hier handeln wird, mit Sicherheit nachzuweisen, so musste für die in Rede stehenden Untersuchungen die Versuchsmethode abgeändert werden. Von den beiden gewöhnlichen Versuchsanordnungen, bei welchen der Stiel entweder am einen Ende eingeklemmt oder aber auf zwei Schneiden gelegt wird, konnte die erstere keine Verwendung finden. Wird der Stiel nämlich zu schwach eingeklemmt, so gibt er nach, ist er stark eingeklemmt, so wird er gequetscht; die Senkungsgrösse hängt dann ausser von der Stielbe-

schaffenheit auch noch von der Art der Quetschung ab. Eine auf allen Seiten gleichförmige Einspannung könnte erreicht werden durch Einbetten des Stielendes in eine beim Trocknen oder Erkalten fest werdende Maße. Beim Einbetten in Paraffin verlieren nun aber die Stiele teilweise die Turgescenz, derselbe Uebelstand wird sich bei Verwendung anderer Substanzen ebenfalls einstellen, wenn auch nur in geringerem Grade. Ausserdem können durch dem Stiel anhaftende Luft- oder Wasserbläschen in dem Einbettungsmedium leicht Ungleichmässigkeiten entstehen, welche bedingen, dass das Medium in verschiedenen Richtungen dem Druck des Stiels nicht gleich gut widersteht.

Die Untersuchungen wurden daher nach der zweiten Methode ausgeführt, bei welcher der Blattstiel auf zwei feste Schneiden zu liegen kommt. Da dieselben aber in den relativ weichen Stiel Vertiefungen eindrückten, so wurde jederseits ein Glasplättchen von Deckglasgrösse untergelegt und mit Wachs an dem Stiel befestigt; letzteres hatte den Zweck, den Stiel in der gewünschten Lage zu erhalten und eine Drehung zu verhindern. Es wurde natürlich dafür Sorge getragen, dass der Stiel direkt auf das Glasplättchen zu liegen kam und dass nicht durch Zusammendrücken der Wachsschicht Fehler entstehen konnten. Das deformierende Gewicht wurde in der Stielmitte angehängt und nur so gross gewählt, dass die Elastizitätsgrenze nicht überschritten wurde. Die Belastung dauerte jeweils 1 Minute. Das Untersuchungsmaterial bildeten Stiele, welche vollständig gerade waren und auf der zu prüfenden Strecke keine grossen Dickenunterschiede zeigten.

Aralia chinensis L. No. 1.

Entfernung der Schneiden	= 137 mm, Gewicht = 250 gr.
Unterseite oben	λ = 0,86 mm
Oberseite oben	λ = 1,03 „
Unterseite oben	λ = 0,86 „
Oberseite oben	λ = 1,03 „
Unterseite oben	λ = 0,86 „
Oberseite oben	λ = 1,20 „

Aralia chinensis L. No. 2.

Entfernung der Schneiden	= 137 mm, Gewicht = 500 gr
Oberseite oben	λ = 0,64 mm
Unterseite oben	λ = 0,60 „
Oberseite oben	λ = 0,62 „
Unterseite oben	λ = 0,58 „

Aesculus Hippocastanum L.

Entfernung der Schneiden	= 137 mm, Gewicht = 200 gr
Oberseite oben	λ = 3,86 mm
Unterseite oben	λ = 3,26 „
Oberseite oben	λ = 3,99 „
Unterseite oben	λ = 3,26 „

Aesculus Hippocastanum L.

Entfernung der Schneiden	= 137 mm, Gewicht = 100 gr
Unterseite oben	λ = 1,89 mm
Oberseite oben	λ = 2,06 „
Unterseite oben	λ = 1,87 „
Oberseite oben	λ = 2,06 „
Unterseite oben	λ = 1,85 „
Oberseite oben	λ = 2,06 „

In diesen Versuchen war ohne Ausnahme λ grösser, wenn die Oberseite nach oben, als wenn sie nach unten gekehrt war. λ bedeutet hier bekanntlich die Senkung der Mitte des auf zwei Schneiden aufruhenden Stiels. War in den Versuchen die Unterseite nach oben gekehrt, so erlitt bei Biegung nach unten die Unterseite einen Druck, die Oberseite einen Zug. In der Natur setzt das Gewicht der Spreite den Stiel denselben Kräften aus, auch hier werden die Zellen der Unterseite gedrückt, die der Oberseite gedehnt. Bei senkrecht nach unten wirkender Kraft ist somit die Steifigkeit des Stiels an und für sich — nicht des Stiels in Verbindung mit dem Zweig — in der natürlichen Lage grösser als in der um 180° gedrehten Lage.

Nachdem wir diese Tatsache auf experimentellem Wege gefunden haben, muss es von Interesse sein, dieses abweichende Verhalten der beiden Stielhälften mit ihrem anatomischen Bau zu vergleichen.

Die stärksten Differenzen zeigt der Stiel von *Aralia chinensis* Nro. 1; Taf. III, Fig. 24 gibt einen Querschnitt durch das in Nro. 1 untersuchte Internodium. Der Querschnitt hat die Gestalt eines nach oben sich verjüngenden Ovals; die mechanisch wirksamen Zellen bilden eine periphere Schicht von überall gleicher Mächtigkeit. Denken wir uns nun ein cylindrisches Rohr (Fig. 1) durch eine in der Achse lie-

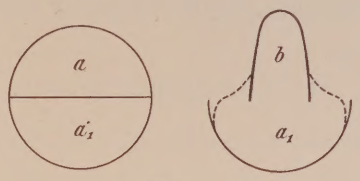


Fig. 1.

gende Ebene in zwei gleiche Hälften (a und a_1) geteilt, so wird die Zug- und Druckfestigkeit beider Hälften dieselbe sein. Wird nun aber die obere Rohrhälfte nach Art unseres Stielquerschnittes von beiden Seiten zusammengedrückt (b), so erleidet dadurch ihre Zugfestigkeit keine Einbusse, während die Druckfestigkeit entschieden abnehmen muss, da die Möglichkeit eines Einknickens erheblich gesteigert wird. Solange nun die Biegung in der Art erfolgt, dass die gequetschte Cylinderhälfte nur Zugkräften ausgesetzt ist, wird ein Unterschied in der Biegungsfestigkeit nicht bemerkbar sein, sobald jedoch die gequetschte Hälfte einen Druck zu erleiden hat, muss die Biegungsfestigkeit sinken. Wenden wir dieses Beispiel auf unsern Stiel von *Aralia chinensis* Nro. 1 an, so werden die konstatierten Steifigkeitsdifferenzen dem Verständnis etwas näher gerückt.

Eine vorzugsweise Verlagerung der mechanischen Zellen auf die Zugseite oder eine Verlagerung des Parenchyms auf die Druckseite ist eine zweckmässige Einrichtung, da gewöhnliches turgescentes Parenchym, wie leicht verständlich, wohl gegen Druck, nicht aber gegen Zug widerstandsfähig ist.

Dass bei den erwähnten Steifigkeitsdifferenzen aber auch noch andere Faktoren mitspielen können, zeigt der Querschnitt von *Aesculus Hippocastanum*. Ein näheres Eingehen auf diesen Gegenstand erfordert die Ausführung zahlreicher Versuche. Der Zweck dieser Zeilen kann im wesentlichen nur der sein, das Vorhandensein solcher Unterschiede zu konstatieren. Dagegen ist es hier am Platze, einiger Untersuchungen zu gedenken, die sich zwar nicht auf Blattstiele beziehen, die uns aber deutlich zeigen, dass selbst scheinbar geringe anatomische Differenzen genügen, um solche Unterschiede in der Biegungselastizität hervorzurufen, wie wir sie eben an Blattstielen feststellen konnten. An einem exzentrisch gebauten Aste mit rundem Querschnitt fand ich (119) ganz bedeutende Unterschiede in der Senkungsgrösse, je nachdem das Mark auf die Zug- oder Druckseite zu liegen kam. Aus den Bestimmungen von F ö p p l (32) geht ferner hervor, dass sowohl für einen Rotholz- als auch für einen Zugholzstab einer Fichte der Biegungsmodul in der natürlichen Lage grösser war, als in umgekehrter Lage. Beim Rotholzstab ist in der natürlichen Lage die konkave, beim Zugholzstab die konvexe Seite der Jahrringe nach oben gekehrt.

Im Anschluss hieran möchte ich die Frage besprechen, ob es in mechanischer Hinsicht von Vorteil ist, dass in einem Stiel, welcher einen halbmondförmigen Querschnitt besitzt oder in welchem doch

wenigstens die mechanisch wirksamen Elemente diese Querschnittsform zeigen, die konkave Seite nach oben, die konvexe nach unten gekehrt ist. Es ist leicht verständlich, dass bei einer im Querschnitt halbmondförmigen Rinne (Fig. 2) die Ränder a und b gegen Zug widerstandsfähig sind, nicht aber gegen Druck, während die Stelle c zugleich auch druckfest ist. Diese Überlegung, von deren Richtigkeit man

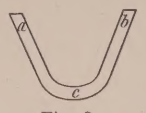


Fig. 2.

sich übrigens mit jeder aus starkem Papier oder Blech hergestellten Rinne auch experimentell überzeugen kann, zeigt, dass die genannte Lagerung des Halbmondes eine äusserst zweckmässige ist, da hiedurch eine viel grössere Biegungsfestigkeit erreicht wird, als bei einer andern Orientierung desselben. Aus dem Gesagten ist auch die weiter hinten geschilderte Verschiedenheit der Biegungsfähigkeit verständlich, die sich zwischen Palmenblättern mit eingeschlagenen und solchen mit zurückgeschlagenen Fiedern zeigt.

b. Abreissfestigkeit.

Obgleich es nun für eine Pflanze entschieden oft von hoher Bedeutung sein wird, ob die Biegungsfähigkeit der Stiele eine kleine oder grosse ist, so treten doch diese Fragen in Betreff ihrer Wichtigkeit für die Existenzfähigkeit weit zurück gegenüber einer andern. Die Kräfte, welche wir bis jetzt auf die Blätter einwirken liessen, riefen allerdings oft bedeutende Deformationen hervor, niemals jedoch wurde der Zusammenhang zwischen Blatt und Zweig gefährdet.

Es soll unsere weitere Aufgabe sein, die Kraft zu bestimmen, welche notwendig ist, um ein gesundes Blatt vom Zweige abzureissen. Diese Kraft muss natürlich je nach Richtung und Angriffspunkt verschiedene Werte haben. In der Natur ist es nun der Wind, der die Blätter bewegt; derselbe kann durch eine im Schwerpunkt der Spreite angreifende Resultante ersetzt werden. Wir lassen daher die Kraft ebenfalls im Schwerpunkt der Spreite angreifen und zwar senkrecht nach unten oder besser gesagt in der Richtung des Zweiges mit dem Sinn gegen die Zweigbasis hin. Es wurde der Kraft deshalb diese Richtung gegeben, weil in derselben das Abreissen am leichtesten erfolgt, und wir so als Resultat das Kraftminimum erhalten. Dass dies zutrifft, soll an einem Beispiel gezeigt werden. Bei Ausführung der Versuche wurde der Zweig in einen Schraubstock festgeklemmt und mittelst einer leichten Schraubzwinge ein cylindrisches Blechgefäss im Schwerpunkt der Spreite befestigt; in das Blechgefäss wurde so lange behutsam Sand gegossen, bis das Blatt riss. Das Gewicht von Schraubzwinge und Blechgefäss samt Inhalt gibt uns nun in jedem Falle die zum Abreissen notwendige Kraft.

Die Versuche beziehen sich auf Blätter von *Betula alba*.

Kraftrichtung in Richtung des Stiels:
Kraft = 676 gr (Mittel aus 7 Versuchen).

Kraftrichtung ‖ dem Zweig, gegen Zweigbasis:
Kraft = 213 gr (Mittel aus 4 Versuchen).

Kraftrichtung ‖ dem Zweig, gegen Zweigspitze:
Kraft = 731 gr (Mittel aus 4 Versuchen).

Zahlreiche weitere Versuche, deren Einzelresultate hier nicht näher angeführt werden sollen, zeigten, dass unter allen Richtungen diejenige ‖ dem Zweig mit Sinn gegen die Zweigbasis die kleinste Kraft zum Abreissen des Blattes erfordert, während in der Richtung ‖ dem Zweig mit Sinn gegen die Zweigspitze die grösste Kraft notwendig ist. Für *Salix babylonica* betrug die Kraft in Richtung ‖

dem Zweig, gegen Zweigbasis 166 gr (Mittel aus 5 Versuchen), in Richtung ‖ dem Zweig, gegen Zweigspitze 843 gr (Mittel aus 4 Versuchen).

In Tabelle VI ist neben der minimalen, zum Abreissen nötigen Kraft auch noch die Abreissstelle für diese Kraft angegeben, es ist ferner noch die Stelle angeführt, an welcher der Stiel reisst, wenn die Kraft in Richtung des Stieles wirkt, die Grösse der in dieser Richtung zum Abreissen nötigen Kraft wurde nicht ermittelt.

Tabelle VI.

Name	Kraft in gr	Abreissstelle für Kraft ‖ Zweig	Abreissstelle für Kraft in Richtung des Stiels
Linosyris vulgaris Cass.	26 (4)[1]	Blattbasis	ca. 6 mm über Blattbasis
Taxus hibernica Hook.	56 (5)	Nadelbasis	(17)[2], Spreitenansatz (16), Stielansatz (1)
Cerastium pensylvanicum	77 (5)	Blattbasis	— — —
Populus pyramidalis Salisb.	84 (4)	0,5—3 mm über Stielbasis	(10) Spreitenansatz bis 3 mm unter demselben (8), 1 mm über Stielbasis (1), 4 mm über Stielbasis (1)
Carpinus Betulus L.	85 (4)	Stielbasis	Stielbasis bis 8 mm über derselben
Fagus silvatica L.	103 (5)	Stielbasis	Stielbasis
Vinca minor L.	110 (4)	Stielbasis	(16), Spreitenansatz (14), Stielmitte (2)
Populus balsamifera L.	145 (4)	Stielbasis	(20), Stielbasis (18), Spreitenansatz (2)
Salix babylonica L.	166 (5)	Stielbasis	— — —
Populus tremula L.	173 (5)	Stielbasis bis 2 mm darüber	(18), Spreitenansatz bis 3 mm darunter (16), Stielbasis (2)
Corylus Avellana L.	180 (5)	Stielbasis	Spreite in der Nähe des Stiels
Syringa vulgaris L.	201 (4)	Stielbasis bis 2 mm darüber	Spreite in der Nähe des Stiels
Populus nigra L., gelbblättrige Varietät	207 (4)	Stielbasis	(4), Stielbasis (2), Spreitenansatz (2)
Betula alba L.	213 (4)	Stielbasis	Stielbasis oder 2 mm über derselben
Buxus sempervirens L.	214 (5)	Stielbasis	Stielbasis
Populus alba L.	229 (4)	Stielbasis	(14), Stielbasis (12), 5 mm unterhalb des Spreitenansatzes (2)
Picea excelsa Link	271 (5)	Nadelbasis	Nadelbasis
Salvia verticillata L.	339 (3)	Stielbasis	Nähe des Spreitenansatzes
Broussonetia papyrifera Vent.	343 (6)	Stielbasis bis 8 mm darüber	(8), Spreitenansatz
Acer Pseudoplatanus L.	530 (9)	Stielbasis	(5) ca. 5 mm unterhalb des Spreitenansatzes
Aesculus Hippocastanum L.	655 (8)	Stielbasis bis 10 mm darüber	— — —
Acer Negundo L.	733 (6)	Stielbasis	— — —
Ilex aquifolium L.	735 (9)	Stielbasis	Stielbasis
Ailanthus glandulosa Desf.	1300 (3)	Stielbasis bis 8 mm darüber	— — —
Prunus Laurocerasus L.	1353 (4)	Stielbasis	Spreitenansatz bis 4 cm darüber
Bocconia cordata Willd.	2490 (2)	Stielbasis	Spreitenansatz
Paulownia imperialis Sieb. et Zucc.	2840 (2)	Stielbasis bis 8 mm darüber	Spreite in der Nähe des Stiels
Arundo Donax L.	3010 (2)	Blattbasis	— — —

[1] Die Zahl in der Klammer bedeutet die Anzahl der Versuche, aus denen das Mittel genommen wurde.

[2] Diese vordere Zahl gibt die Anzahl der überhaupt ausgeführten Versuche an, die hintere die Anzahl der das betreffende Resultat gebenden Versuche.

Ein Vergleich dieser Tabelle mit unserer Kurve zeigt, dass allerdings im grossen und ganzen Blätter mit grösserer spezifischer Steifigkeit auch fester angewachsen sind, doch finden sich selbst bei sehr grossen Steifigkeitsdifferenzen noch starke Ausnahmen. So braucht es z. B. eine grössere Kraft, um ein *Ilex*blatt abzureissen als um ein Blatt von *Aesculus* von seinem Zweige zu trennen, während doch das Biegungsmoment von *Aesculus* ca. 260mal so gross ist als das von *Ilex*. Die extremen Unterschiede in der Steifigkeit der untersuchten Blätter sind viel grösser als die in der Abreissfestigkeit derselben Blätter. Nach unsern Untersuchungen ist nämlich das Biegungsmoment von *Ailanthus* ca. 30 000mal so gross als das von *Salix babylonica*, während — um ebenfalls wieder die Extreme herauszugreifen — zum Abreissen eines *Paulownia*blattes eine nur ca. 34mal grössere Kraft notwendig ist als zur Lostrennung eines Blattes von *Populus pyramidalis*. Hier also, wo es sich um eigentliche Existenzbedingungen handelt, gleichen sich die Differenzen mehr und mehr aus, die wunderbar reiche Erfinderin kühner Konstruktionen bewegt sich hier in engern Grenzen. Sommergrüne Pflanzen mit biegsamen, nadelförmigen Blättern, die wegen ihrer geringen Angriffsfläche von Regen, Hagel und Wind nur äusserst wenig zu leiden haben, bedürfen keiner grossen Abreissfestigkeit, so dass das für *Linosyris* gefundene Resultat nicht auffallen kann. Das Verhalten von *Cerastium pensylvanicum* muss dagegen entschieden befremden im Vergleich zu demjenigen von *Taxus hibernica*, die erste Pflanze ist nicht nur nicht immergrün, sie kriecht auch auf dem Boden hin und muss daher schon durch ihre Wuchsart vor dem Angriff des Windes geschützt sein, während *Taxus* aller dieser Vorteile entbehrt und dennoch eine geringere Abreissfestigkeit besitzt. Wenn aber *Taxus* trotz alledem gegen die Unbilden der Witterung genügend geschützt ist, so muss uns die grosse Abreissfestigkeit von *Cerastium* entschieden als Materialvergeudung erscheinen, falls wir die Sache eben nur einseitig von diesem mechanischen Gesichtspunkt aus betrachten. Noch viel unerklärlicher ist von unserm Standpunkt aus das Verhalten von *Vinca*, welche im Vergleich zu *Populus pyramidalis* nur ein äusserst kleines Blatt besitzt und durch die kriechende Wuchsart trefflich geschützt ist. Das Ausdauern der Blätter den Winter über scheint, wie *Taxus* erkennen lässt, eine solche Festigkeit auch nicht zu bedingen. Die relativ kolossale Abreissfestigkeit von *Picea* zeigt uns aufs neue, dass noch andere Faktoren auf den Stielbau einen Einfluss ausüben, der, wenn auch nicht direkt mit der Festigung im Zusammenhang stehend, dieselbe doch indirekt beeinflussen kann.

Dass übrigens Blätter, die mechanisch nicht beansprucht werden, nicht nach mechanischen Gesetzen gebaut sind, dürfte kaum auffallen.

Bis jetzt wurden die Abreissfestigkeiten der Blätter verschiedener Species verglichen; im folgenden soll untersucht werden, ob Beziehungen bestehen zwischen der Festigkeit und dem Bau verschiedener Blätter derselben Species und speziell derselben Pflanze.

Bei *Salvia verticillata* hat von den drei untersuchten Blättern das kleinste auch die geringste Abreissfestigkeit. Die Spreitenflächen verhalten sich wie

90 : 88 : 61

die zum Abreissen notwendigen Gewichte wie

355 : 345 : 317.

Bei *Populus tremula* verhalten sich die Gewichte wie

100 : 142 : 170 : 212 : 230

die entsprechenden Spreitenflächen wie

43 : 32 : 43 : 62 : 39

Das Blatt mit der Spreitenfläche 43 cm² und dem Abreissgewicht 100 gr hätte also, unter sonst gleichen Umständen entschieden die geringste Aussicht einem Sturme trotzen zu können; das Blatt mit der Fläche 39 cm² und dem Abreissgewicht 230 gr die grösste. Dass genau gleich grosse Blätter sich sehr verschieden verhalten, mag oft auf verschiedene Exposition, vielleicht noch häufiger verschiedenes Alter sich zurückführen lassen.

Bei *Betula alba* verhalten sich die Gewichte wie

100 : 222 : 242 : 287

die entsprechenden Spreitenflächen wie

14 : 18 : 18 : 20

Es nimmt also die Abreissfestigkeit mit der Grösse des Blattes zu.

Bei *Acer Pseudoplatanus* verhalten sich die Gewichte wie

209 : 225 : 300 : 350 : 615 : 660 : 680 : 827 : 935

die entsprechenden Spreitenflächen wie

16 : 34 : 73 : 56 : 74 : 95 : 129 : 164 : 142

Auch hier ist die Übereinstimmung ziemlich gross. Es mag noch bemerkt werden, dass die Blätter mit den Spreitenflächen 73 und 74 cm² an demselben Knoten angewachsen waren, auch gleichlange Stiele besassen und dennoch in Bezug auf die Festigkeit solch grosse Unterschiede zeigten. Ebenso stammen die Blätter mit den Spreitenflächen 142 und 129 cm² von demselben Knoten. Trotzdem die Festigkeit mit der Spreitengrösse bedeutend zunimmt, so scheinen doch die grossen Blätter unter den Unbilden der Witterung am meisten zu leiden, indem hauptsächlich diese nach einem starken Unwetter den Boden bedecken.

Bei *Ilex Aquifolium* verhalten sich die Gewichte wie

267 : 415 : 450 : 452 : 615 : 992 : 1080 : 1130 : 1210

die entsprechenden Spreitenflächen wie

13 : 14 : 12 : 10 : 10 : 14 : 15 : 13 : 13

Ein bestimmter Zusammenhang zwischen Blattgrösse und Abreissfestigkeit existiert hier nicht, dagegen findet sich eine andere Beziehung. Die Abreissfestigkeit ist nämlich um so grösser je näher das Blatt an der Zweigspitze liegt. Das verschiedene Verhalten der 3 Blätter mit der Spreitenfläche 13 cm² ist entschieden in diesem Falle auf die verschiedene Lage zurückzuführen.

Bei *Broussonetia papyrifera* verhalten sich die Gewichte wie

210 : 280 : 315 : 320 : 425 : 505

die entsprechenden Spreitenflächen wie

60 : 68 : 34 : ca. 70 : 38 : 41

An demselben Knoten sitzen jeweils die Blätter mit den Spreitenflächen 60 und 38, 70 und 41, 68 und 34. Dass die Anisophyllie auch Unterschiede in der Festigkeit bedingt, ist leicht verständlich, auffallend dagegen ist es, dass an jedem Knoten jeweils das kleinere Blatt die grössere Abreissfestigkeit besitzt. Eine vergleichend anatomische Untersuchung wird wohl den Zusammenhang zwischen Bau und physikalischem Verhalten aufdecken.

Bei *Acer Negundo* wurde ausser der Abreissfestigkeit des ganzen Blattes auch noch die der einzelnen Fiederblätter bestimmt. Die Kraft war in letzterm Falle parallel dem Gesamtstiel mit Sinn gegen die Stielbasis gerichtet. Ausser der Endfieder hatte das Blatt noch 2 Paar Teilblättchen. Von dem obern Paar betrugen die Spreitenflächen 30 bezw. 28 cm², die zum Abreissen notwendigen Gewichte waren in beiden Fällen gleich 212 gr. Von dem untern Paar betrugen die Spreitenflächen 51 bezw. 37 cm², die entsprechenden Gewichte 465 bezw. 450 gr. Die kleinern Teilblättchen hatten also auch eine kleinere Abreissfestigkeit. Die Festigkeit des ganzen Blattes war 935 gr.

Während wir uns bisher nur um die Grösse des Gewichtes bekümmerten, das angehängt werden muss, um das Blatt abzureissen, wollen wir jetzt noch kurz die Stelle betrachten, an der dieses Abreissen stattfindet. Die Fläche, in welcher die Trennung erfolgt, mag die kritische Fläche heissen. Dieselbe befindet sich, nach Tab. VI, wenn die Kraft nach der Zweigbasis gerichtet ist, an der Stielbasis oder doch in der Nähe derselben. Nun haben wir aber gesehen, dass der Stiel gegen die Basis zu oft ganz bedeutend an Dicke zunimmt: das Verhalten beim Abreissen war daher nicht ohne weiteres vorauszusehen. Die Verwachsung der Stielbasis mit dem Zweig ist jedoch in vielen Fällen keine so innige wie sie es auf den ersten Blick zu sein scheint und darf nicht einfach der Vergrösserung der Stielbasis proportional angenommen werden. Als deutliches Beispiel erwähne ich *Acer Negundo*. Die stark verdickte

Stielbasis liegt hier dem Zweig so dicht an, dass man eine vollständige Verwachsung vermutet, die Täuschung wird erst sichtbar, wenn man den Stiel stark nach unten zieht und endlich abreisst; man sieht dann, dass die Verwachsung sich nur auf ein relativ schmales, halbmondförmiges Stück bezieht. Es ist ferner zu bedenken, dass bei der angewandten Versuchsmethode der ganze Stiel, mit Ausnahme der Basis, allein auf Zugelastizität beansprucht war, sobald einmal das angehängte Gewicht eine bestimmte Grösse erreicht hatte; nur die Basis selbst war Biegungskräften ausgesetzt. Die Zugkräfte waren daher, mit Ausnahme der Stielbasis, gleichförmig über jeden Querschnitt verteilt, wodurch die Gefahr des Zerreissens bedeutend herabgemindert wurde. An der Basis sind die über der Neutralen gelegenen, am weitesten von derselben entfernten Zellen, am stärksten auf Zug beansprucht. Die Lokalisation des stärksten Zuges auf eine kleine Stelle ist aber für die Festigkeit des ganzen Stiels höchst ungünstig. Der erste Riss erfolgt an der schwächsten Stelle, die bei jedem Stiel eine etwas andere Lage haben wird. Von der Richtung des ersten Risses und der mechanischen Beschaffenheit der umgebenden Gewebe wird die Art und Weise, wie er sich vergrössert, und somit die Richtung und Gestalt der kritischen Fläche abhängen.

Lässt man die Kraft in Richtung des Stieles wirken, so ist, wie experimentell nachgewiesen wurde, die Abreissfestigkeit eine grössere. Die obige Betrachtung führt auch auf rein theoretischem Wege zu demselben Resultat. Bei der jetzigen Richtung der Kraft wird eben jede Biegung vermieden und damit auch einer ungleichartigen Beanspruchung verschiedener Teile desselben Querschnitts vorgebeugt. Auch in diesem Fall schien es mir von Interesse zu sein, die Lage der kritischen Fläche zu bestimmen. Es geschah dies nicht durch Anhängen von Gewichten, sondern der Einfachheit wegen einfach dadurch, dass die Spreite mittelst zweier passend zugeschnittener Korklamellen mit den Händen festgehalten und in Richtung des Siels so lange gezogen wurde, bis das Blatt riss. Die Abreissstelle findet sich (vide Taf. VI) nicht mehr ausnahmslos an der Stielbasis, sondern sehr häufig an einer andern Stelle; die kritische Fläche hat eine andere Lage; sie fällt, falls die Querschnitte einander ähnlich sind, mit dem kleinsten Querschnitt zusammen.

c. Torsionselastizität.

Von hohem Interesse ist die Torsionselastizität, weil durch den Wind sehr häufig Drillungen von Blattstielen hervorgerufen werden, was bei einigen Bäumen so leicht geschieht, dass dadurch ein fast ständiges Zittern verursacht wird, welches für *Populus tremula* sprichwörtlich geworden ist.

Die Versuchsanordnung war folgende:

Der zu untersuchende Stiel wurde an seinen Enden mittelst der 2 Klammern a und b (Fig. 25) festgespannt. Da die Klammern an 2 verschiedenen Stativen befestigt waren, so konnte durch Verschieben der letztern die Klammerdistanz beliebig verändert und jeder Blattstiellänge leicht angepasst werden. Klammer a konnte nicht gedreht werden, während Klammer b an einer Achse befestigt war, welche auf Friktionsrädern aufruhte und daher einer Drehung keinen nennenswerten Widerstand entgegensetzte. Mit dieser Axe waren ferner eine Rolle von 23 mm Radius und eine, an der Peripherie in 360° eingeteilte Kreisscheibe verbunden. Über die Rolle lief ein Faden, der an seinem Ende ein Gewicht von 10,8 gr. trug. Die geteilte Scheibe spielte vor einem festen Zeiger, wodurch es möglich war, den Torsionswinkel zu messen. Da bei der Torsion des Stiels zugleich auch dessen Länge verkleinert wird, so hatte ich eine Vorkehrung getroffen, welche es der Klammer a gestattete, einem, bei der Torsion des Stieles entstehenden Zug nachzugeben. Das Drehungsmoment war bei allen Versuchen dasselbe. Die Torsion erfolgte immer, von der Stielspitze aus gesehen, im Sinne des Uhrzeigers. In die Klammer a wurde immer das basale Stielende eingespannt. Als Untersuchungsmaterial dienten ausschliesslich gerade, nicht tordierte Stiele. In der folgenden Tabelle VII ist an einigen Beispielen gezeigt, in welcher Weise ich die Untersuchung ausführte. Es wurde angegeben die Stiellänge zwischen den Klammern in mm, der Torsionswinkel in Graden, der vertikale (⊥ zur Spreitenfläche) und der horizontale (∥ der Spreitenfläche) Stieldurchmesser, in der Stielmitte gemessen.

Tabelle VII.

Name	Torsionswinkel für Stiellänge 1 mm	Torsionswinkel in Graden	Stiellänge in mm	Stieldurchmesser in mm	
				vertikaler	horizontaler
Populus nigra L., gelbblättrige Varietät.	25,9	1350	52	1,45	0,75
	26,1	1800	69	1,35	0,70
	15,6	720	46	1,85	0,85
	19,4	950	49	1,75	0,85
	17,1	790	46	1,85	0,87
	12,9	580	45	2,15	1,02
Populus balsamifera L.	1,00	60	60	2,50	1,95
	1,41	79	56	2,60	1,85
	0,89	40	45	2,50	2,05
	1,21	47	39	2,25	2,03
	0,61	35	57	3,07	2,20
	0,75	46	61	2,63	2,25
Populus alba L.	5,24	262	50	2,65	1,60
	5,41	265	49	2,55	1,55
	14,4	475	33	1,80	1,20
	7,27	320	44	1,80	1,23
	3,12	150	48	2,20	1,45
	11,4	410	36	2,00	1,20

Tabelle VIII.

Name	Torsionswinkel Mittel aus sämtl. Versuchen	Mittlere Stiellänge	Mittlere Durchmesser der Stielmitte		Torsionswinkel zur Stiellänge 1 mm Mittel aus sämtl. Versuchen	Querschnittsinhalt (angenähert)
			vertikal	horizontal		
Carpinus Betulus	730	8,5	0,88	0,99	86,0	1,9
Populus pyramidalis	1656	37	1,25	0,71	45,4	2,0
Betula alba	1163	23	1,00	1,03	50,0	2,0
Populus tremula b	1511	51	1,39	0,75	29,2	2,1
Tilia argentea	879	54	1,12	1,15	16,9	2,3
Populus nigra	1031	51	1,73	0,84	19,5	2,6
Fagus silvatica	200	7	1,21	1,36	27,5	2,6
Alnus glutinosa	302	18	1,38	1,44	16,78	2,8
Syringa vulgaris	140	24	1,78	1,58	6,03	3,4
Ginkgo biloba	372	67	1,53	1,88	3,54	3,4
Liriodendron tulipifera	66	100	1,79	1,64	0,67	3,4
Populus alba	314	43	2,17	1,37	7,81	3,5
Populus tremula a	216	28	2,16	1,56	7,68	3,7
Ilex Aquifolium	14	7	1,65	2,09	2,06	3,7
Acer Pseudoplatanus	120	116	2,03	2,02	1,08	4,1
Corylus avellana	71	16	1,96	2,14	4,55	4,1
Populus balsamifera	51	53	2,59	2,06	0,98	4,7
Broussonetia papyrifera	44	106	3,20	3,23	0,39	6,4
Aesculus Hippocastanum	6	207	3,70	3,61	0,03	7,3
Paulownia imperialis	2	286	7,30	6,83	0,007	—

Wie nun die in Tabelle VIII berechneten Mittelwerte der Torsionswinkel lehren, besitzen von allen untersuchten Blättern gewisse Pappelarten die grösste Torsionsfähigkeit, *Paulownia* die geringste. Da die Torsionsfähigkeit eines Stieles — ceteris paribus — mit seiner Länge zunehmen muss, so sind die kleinen Torsionswinkel für sehr lange Stiele, wie für *Paulownia* und *Aesculus*, auffallend und zeigen, dass es hier der Bau des Querschnitts sein wird, der die Verschiedenheiten in der Torsionsfähigkeit bedingt. Wie gross der Einfluss des Querschnitts ist, lässt sich aber nur dann angenähert richtig erkennen, wenn alle Stiele auf dieselbe Länge reduziert gedacht werden. In Tabelle VII und VIII sind die Torsionswinkel für die auf 1 mm reduzierten Stiele angegeben; die einzelnen Zahlen wurden durch Division der Mittelwerte durch die in mm angegebene Stiellänge erhalten. Bezeichnen wir die Torsionsfähigkeit der auf 1 mm Länge reduzierten Stiele als s p e z i f i s c h e, so folgt aus den Tabellen, dass von allen untersuchten Stielen derjenige von *Carpinus Betulus* die grösste, spezifische Torsionsfähigkeit besitzt, ein Resultat, das entschieden nicht a priori vermutet worden wäre, das aber sofort verständlich wird, wenn man durch einen Blick auf die Tabelle sich davon überzeugt, dass von allen untersuchten Stielen *Carpinus* auch die geringste Querschnittsdimension besitzt. Es schliessen sich in Bezug auf die spec. Torsionsfähigkeit an die Stiele von *Betula* und von *Populus pyramidalis.*

Aus Tab. VIII ist ersichtlich, dass der spezifische Torsionswiderstand im grossen und ganzen mit dem Stielquerschnitt zunimmt. Stellt man die eben genannte Abhängigkeit graphisch dar, indem man die Querschnitte als Abszissen, die spezifischen Torsionsfähigkeiten als Ordinaten aufträgt, so erkennt man aufs neue die Richtigkeit des ausgesprochenen Satzes, man sieht aber auch, dass kein continuirliches Sinken der Kurve stattfindet. Gewisse Blattstiele, so vor allem die einiger *Populus*-Arten zeigen eine grössere spezifische Torsionsfähigkeit als die benachbarten Stiele, so dass die Kurve an diesen Stellen sekundäre Maxima aufweist.

Man könnte nun leicht geneigt sein, diese Ausnahmestellung einiger *Populus*blätter mit der Abplattung der Stiele in Zusammenhang zu bringen. Nun hat man aber zu bedenken, dass nur einige der abgeplatteten *Populus*stiele dieses Verhalten zeigen, nicht aber alle. Hieraus folgt, dass die Ausnahmestellung wahrscheinlich mit der Querschnittsform des Stieles nichts zu tun hat, vielleicht sogar eine nur scheinbare ist, indem sie durch einen abweichend grossen Torsionswiderstand der Nachbarstiele bedingt wird. Auch hat man nie zu vergessen, dass wir beim Eingehen auf Einzelheiten der Tatsache uns wohl bewusst sein müssen, dass unsere Querschnittsinhalte nur ungenaue Annäherungswerte darstellen, wurden doch statt der eigentlichen Querschnittsflächen nur die Inhalte der aus den Durchmessern der Stielmitten berechneten Rechtecke verglichen.

Eine Gegenüberstellung des hohlcylindrischen Stieles von *Paulownia*, des massiven von *Aesculus* und des seitlich zusammengedrückten verschiedener *Populus*-Arten macht es von Interesse, die Abhängigkeit der Torsionselastizität von der Querschnittsform festzustellen, für Stäbe von gleicher Länge, gleichem Querschnittsinhalt und gleichem Material.

Besitzt der Stab einen vollen, kreisförmigen Querschnitt von 10 mm Radius, so folgt für einen ringförmigen Querschnitt, wenn er gleichen Inhalt besitzen soll z. B.:

$R_1 = 20$ und $R_2 = 17{,}32$ mm oder
$R_1 = 15$ und $R_2 = 11{,}18$ mm

Für einen rechteckigen Querschnitt, wenn man die Höhe 2 h und die Breite 2 b nennt, z. B.:

$2h = 20$ und $2b = 15{,}7$
$2h = 25$ und $2b = 12{,}55$
$2h = 17{,}72$ und $2b = 17{,}72$ quadratischer Querschn.

Für prismatische Stäbe aus gleichem Material, von gleicher Länge und gleichem Querschnittsinhalt beträgt das, zur Erzeugung eines bestimmten Torsionswinkels notwendige Drehungsmoment, wenn wir dasjenige für den vollen, kreisförmigen Querschnitt willkürlich P. a = 1000 setzen:[1]

[1] Berechnung nach Formel 4 und 5.

Für einen ringförmigen Querschnitt

$R_1 = 20$; $R_2 = 17{,}32$ Pa = 7001
$R_1 = 15$; $R_2 = 11{,}18$ Pa = 3500

Für rechteckigen Querschnitt:

2 h = 20 ;	2 b = 15,7	Pa = 1077
2 h = 25 ;	2 b = 12,55	Pa = 1305
2 h = 17,72;	2 b = 17,72	Pa = 1047
2 h = 30 ;	2 b = 10,47	Pa = 1685
2 h = 60 ;	2 b = 5,23	Pa = 6053
2 h = 314 ;	2 b = 1	Pa = 164328.

Diese Zahlen zeigen, dass bei stark abgeplattetem rechteckigem Querschnitt die Torsionselasticität ausserordentlich gross ist. Für die, bei Blattstielen vorkommenden Dimensionen, bei welchen die Höhe im Maximum etwa 2—3mal grösser sein wird als die Breite, muss aber der ringförmige Querschnitt als der geeignetste bezeichnet werden zur Erzeugung grosser Torsionselastizität, während der kreisförmige Querschnitt die ungünstigste Materialverteilung aufweist.

Aus diesen Untersuchungen geht das bemerkenswerte Resultat hervor, dass die grosse Torsionsfähigkeit der Stiele von *Populus nigra*, *tremula* und *pyramidalis* nicht durch ihre seitlich zusammengedrückte Querschnittsform bedingt sein kann. Die Faktoren, welche hier eine Rolle spielen, sind neben der Stiellänge und dem durch die Blattform mitbedingten Moment der tordierenden Kraft, die kleine Querschnittsfläche sowie die Grösse und Anordnung des mechanisch wirksamen Gewebes. Es ist das entschieden einer der Fälle, in denen der sogenannte gesunde Menschenverstand wohl die meisten Menschen irre führen wird, indem sie einen direkten Zusammenhang zwischen dem „Zittern" und der Stielquerschnittsform der Zitterpappel eigentlich als selbstverständlich erachten.

Es wurde schon früher, bei Besprechung der Biegungsfähigkeit auf die morphologischen Verschiedenheiten der *Populus tremula*-Blätter aufmerksam gemacht. Die Blätter von *Populus tremula* a sind jenen üppig entwickelten Sprossen entnommen, sie besitzen kürzeren, dickern Stiel, grössere Spreite und einen weit grösseren Torsionswiderstand als die Blätter von *Populus tremula* b.

Mit der vorhin gefundenen, grossen Torsionselastizität hohlcylindrischer Organe steht es auch im Einklang, dass der Stiel von *Paulownia*, trotzdem er die grösste Länge aufweist, nicht nur die geringste spezifische Torsionsfähigkeit besitzt, sondern auch den kleinsten Torsionswinkel zeigt.

3. Verhalten der Blätter in einem Windstrom von bestimmter Stärke.

Nachdem nun die Biegungs- und Torsionsfähigkeiten einiger Blätter untersucht worden sind, muss es für uns von Interesse sein, das Verhalten der Blätter bei Wind oder Regen zu studieren. Zu diesem Behufe stellte ich mir künstlich einen Wind von regulierbarer Geschwindigkeit her und beobachtete das Verhalten der Blätter in demselben. Zur Erzeugung des Windes benützte ich einen, von Herrn Elektrotechniker Klingelfuss in Basel konstruierten und mir von ihm gütigst zur Benützung überlassenen Ventilator. Derselbe trägt drei Flügel von je 12,8 cm Länge, welche mit Hilfe eines elektrischen Motors in Rotation versetzt werden können. Der Motor wurde getrieben durch einen Strom von 220 Volt. Vermittelst eines Rheostaten liess sich die Umdrehungsgeschwindigkeit beliebig variieren, so dass in 20 cm Entfernung von den Flügeln die Windgeschwindigkeit von 3,5 bis 10,5 $\frac{m}{sec}$ gesteigert werden konnte. Die Windgeschwindigkeit wurde mit einem Neumannschen Anemometer gemessen. Durch weitere Verminderung des Widerstandes hätten leicht noch grössere Geschwindigkeiten erreicht werden können, doch wurde hievon abgesehen, weil eine allzu starke Steigerung der Umdrehungsgeschwindigkeit ein Losreissen der Flügel hätte befürchten lassen. Mit Hilfe eines grösseren Ventilators würde natürlich mit der grössten Leichtigkeit auch ein stärkerer Wind erzeugt werden können; ebenso kann durch Verlängerung der Flügel der Durchmesser des Windstromes vergrössert werden. Auf diese

Art erhält man allerdings kein ganz homogenes Feld, die Windgeschwindigkeit ist im Zentrum und am Flügelende etwas kleiner als in der Mitte der Flügel; doch sind diese Unterschiede für uns belanglos und können auch durch Anwendung längerer Flügel leicht auf ein Minimum reduziert werden. Auch bei unserm Apparat ist für nicht zu grosse Blätter die Windgeschwindigkeit als konstant zu betrachten. Die Versuche geschahen nun in der Weise, dass man die zu untersuchenden Blätter oder Zweige mit Hilfe einer Klammer in einem bestimmten Abstand von den Flügeln befestigte;[1] hierauf wurde der Strom geschlossen und die Bewegung der Blätter beobachtet, gewisse Stellungen derselben wurden auch mit Hilfe einer Camera lucida gezeichnet. Von jeder untersuchten Species photographierte ich einen kleinen Zweig, und zwar das eine Mal bei Windstille, das andere Mal in einem Luftstrom von ca. 10 $\frac{m}{sec}$ Geschwindigkeit. Die Zweigachsen waren hiebei immer vertikal gestellt, der Wind blies in horizontaler Richtung von rechts nach links (in Richtung des Pfeils).

Uber die Herstellung der Photographien bewegter Blätter mögen hier einige Bemerkungen eingeschaltet werden. Es handelt sich natürlich um Momentaufnahmen in direktem Sonnenlicht. Ausser einem lichtstarken Objektiv ist vor allem ein guter Momentverschluss notwendig; derselbe muss nämlich so rasch arbeiten, dass das Bild der in äusserst schneller Bewegung befindlichen Blätter nicht verwischt wird; er muss ferner trotz der kurzen Expositionsdauer doch eine genügende Lichtmenge auf die Platte fallen lassen. Die gewöhnlichen Momentverschlüsse erfüllen nun wohl die eine oder die andere dieser Bedingungen, nicht aber beide zusammen. Brauchbare Resultate erhielt ich nur mittelst eines, dicht vor der lichtempfindlichen Platte angebrachten Anschütz-Verschlusses, den ich der Güte des Herrn Optikers Suter in Basel verdanke. Wenn trotzdem viele Blätter verwischt sind, so beruht dies darauf, dass die Bewegungen des Zweiges auch in der Richtung der optischen Axe des Apparates stattfanden; da nun das Bild nur für die bei Windstille eingenommene Lage scharf war, so mussten natürlich alle die Teile verwischt werden, welche im Moment der Aufnahme weiter oder weniger weit von dem Apparat entfernt waren als in der Ruhelage. Die gefundenen Resultate sollen im folgenden mitgeteilt werden.

Populus nigra L., gelbblättrige Varietät.

Auffallend ist hier vor allem das Herabhängen der Blätter bei Windstille, Taf. IV, Fig. 27. Der Stiel besitzt, wie früher gezeigt wurde, einen kleinen Flächeninhalt und ist dazu noch abgeplattet. Das Erstere hat zur Folge, dass er sehr leicht tortiert werden kann, das Letztere, dass die Steifigkeit an der stark abgeplatteten Stelle in der einen Richtung viel grösser ist als in der andern. Aus diesen beiden Eigenschaften des Stiels erklärt es sich, dass vollständig turgescente Blätter ihre Spreitenfläche vertikal stellen können, wie das bei dem in Taf. IV, Fig. 27 abgebildeten Zweig der Fall ist. Es findet nämlich in der Nähe des Stielendes eine Torsion um 90° statt; diese hat zur Folge, dass von dieser Stelle bis zum Stielende der kürzere Querschnittsdurchmesser vertikal gerichtet ist und somit die Biegungsfähigkeit des Stiels bedeutend vermehrt wird. Am Grunde dieses Stielstückes biegt dann der Stiel nach unten um.

Eine Betrachtung von Taf. IV, Fig. 28 zeigt, dass sich die Blätter so viel als möglich dem Wind parallel zu stellen suchen und sich hiebei gegenseitig überdecken. Dasselbe findet auch in mehr oder weniger hohem Maße statt, wenn der Wind in irgend einer andern Richtung den Zweig trifft, und ist besonders deutlich zu sehen, wenn er parallel der Zweigachse bläst.

Schon der leiseste Windhauch bewegt die Blätter; bei einer Windgeschwindigkeit von 3 $\frac{m}{sec}$ schwingen sie bereits lebhaft hin und her und stossen hörbar gegeneinander; die Bewegungen der einzelnen Blätter sind aber noch langsam, ihre einzelnen Schwingungen leicht zu unterscheiden. Mit zunehmender Geschwindigkeit des Windes nehmen auch die Bewegungen der Blätter und das Aneinanderschlagen derselben zu, jedoch nur bis zu einer gewissen Grenze, welche bei ca. 4—5 $\frac{m}{sec}$ erreicht ist. Jetzt ändert sich das Bild wesentlich, die Bewegung der Blätter, die bis dahin eine stete Steigerung erfahren hat, nimmt jetzt wieder ab; die einzelnen Spreiten stellen sich mehr und mehr der Windrichtung parallel und schliessen sich zugleich immer enger aneinander an. Hiedurch wird die Lebhaftigkeit der Bewegung

[1] so dass der Wind senkrecht auf die Spreitenfläche blies.

stark reduciert, das Aneinanderschlagen und das durch dasselbe hervorgerufene Rauschen der Blätter nimmt ab. Dass die Blätter sich aneinander legen, sobald dies überhaupt nur möglich ist, lässt sich mechanisch leicht erklären. Sind nämlich die Stiele lang und biegsam genug, um dem Wind eine gegenseitige Berührung mehrerer Blätter zu ermöglichen, so bläst derselbe, sobald einmal zwei Blätter annähernd aneinanderliegen, hauptsächlich nur noch an die sich nicht berührenden Seiten der Blätter und arbeitet auf diese Weise selbst einer Trennung derselben entgegen. Sämtliche Bewegungen der Blätter werden durch Biegungen und Torsionen der Stiele ausgeführt.

Bei der Untersuchung des Verhaltens eines einzelnen Blattes wurde, ähnlich wie bei den Versuchen über Biegungselastizität, der Zweig eingespannt, in diesem Falle aber so, dass das Blatt vertikal nach unten gerichtet war. Schon ein äusserst schwacher Wind bewegt das Blatt, wobei sowohl Biegungen als Torsionen des Stiels zu beobachten sind. Bei einer Windgeschwindigkeit von 3 $\frac{m}{sec}$ schwingt es entweder hin und her, wobei die Blattspitze sich innerhalb eines Kreises von 12 cm Durchmesser bewegt, und der Stiel bald in dem einen, bald in dem andern Sinne verdrillt wird, oder aber das Blatt stellt sich in eine Gleichgewichtslage ein, wie das in Fig. 3 der Fall war.[1] Hiebei suchte der um 540° verdrillte

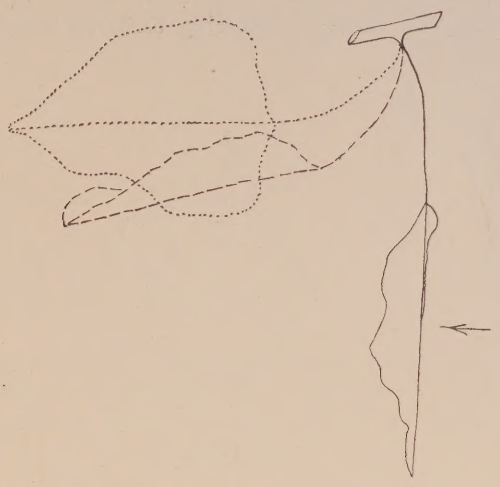


Fig. 3.

Stiel sich aufzudrillen, wurde aber daran verhindert durch das entgegengesetzte Drehungsmoment, das der gegen die Spreite blasende Wind ausübte. In diesem Fall, in welchem die beiden Drehungsmomente sich das Gleichgewicht hielten, führte das Blatt nur noch kleine, aber sehr rasche Schwingungen senkrecht zur Spreite aus. Eine solche Gleichgewichtslage wird aber nur selten und auch dann meist nur kürzere Zeit angenommen, da eben eine kleine Störung dieses labilen Gleichgewichts genügt, um der einen oder andern Kraft die Oberhand zu geben. Bei einer Windgeschwindigkeit von 10 $\frac{m}{sec}$ kann nun das Blatt wieder sich entweder in eine Gleichgewichtslage einstellen, Fig. 3, oder pendelartige, mit Stieltorsionen verbundene Schwingungen ausführen, welche meist eine kleinere Amplitude besitzen als bei 3 $\frac{m}{sec}$, dafür aber mit grösserer Geschwindigkeit erfolgen. Ein labiles Gleichgewicht kann auch hier wieder dadurch zustande kommen, dass der in diesem Falle um 810° tordierte Stiel durch seine Torsions- und Biegungselasticität, sowie durch das Gewicht des Blattes der Kraft des Windes entgegenwirkt. Auch hier handelt es sich natürlich nicht um eine absolute Ruhelage; die Spreite führt auch in diesem Falle kleine Bewegungen, sowohl senkrecht zur Mittelrippe als auch solche mit der Mittelrippe als Achse aus.

[1] Die ausgezogene Linie gibt die Lage und Gestalt des Blattes an bei Windstille, die gestrichelte Linie bei einer Windgeschwindigkeit von 3 $\frac{m}{sec}$, die punktierte bei einer Windgeschwindigkeit von 10 $\frac{m}{sec}$. Der Pfeil zeigt Richtung und Sinn des Windes an.

Das in Fig. 3 aufgezeichnete Verhalten stellt nun aber, wie schon bemerkt, nicht etwa eine Regel dar, nach welcher sich alle Blätter von *Populus nigra* verhalten. Wir haben gesehen, dass sogar dasselbe Blatt, unter den gleichen äussern Umständen sich sehr verschieden verhalten kann; umso mehr müssen daher verschiedene Blätter, die andere Biegungs- und Torsionsfähigkeiten besitzen, grössere Unterschiede zeigen.

Immerhin finden wir bei allen Versuchen, im Einklang mit unsern frühern Resultaten eine äusserst grosse Torsionsfähigkeit des Stiels, welche jedoch, wie wir wissen, mit der geometrischen Form seines Querschnittes nichts zu tun hat. Die grosse Biegungsfähigkeit ist mit den früher gefundenen Werten nicht direkt vergleichbar, da wir es hier mit Biegungen eines tordierten Stiels zu tun haben.

An der Spreite ist ihre grosse Steifheit bemerkenswert, infolge deren ihre Gestalt durch den Wind kaum merklich verändert wird, Taf. IV, Fig. 27—28, Fig. 3. Noch viel deutlicher geht dies aus Fig. 4 hervor, welche allerdings einen in der Natur nicht vorkommenden Fall vorstellt. Hier ist das Stielende eingespannt, so dass nur die Spreite sich bewegen kann. Trotzdem finden selbst bei einer Windgeschwindigkeit von 10 $\frac{m}{sec}$ keine Biegungen senkrecht zur Mittelrippe statt. Die beiden Spreitenhälften klappen etwas zusammen und zwar um so mehr, je stärker der Wind ist, doch kommen sich die beiden Spreitenhälften dabei nie so nahe, dass sie sich gegenseitig berühren könnten.

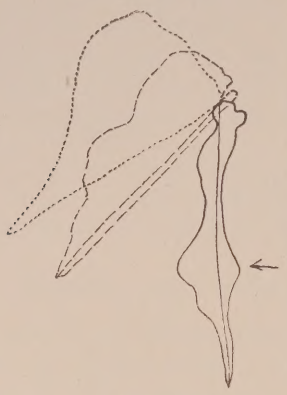


Fig. 4.

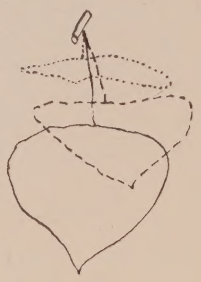


Fig. 5.

Fig. 6.

Eine Messung der mit Zunahme des Windes erfolgten Verkleinerung der Angriffsfläche ergab folgendes Resultat: Ein Blatt mit frei beweglichem Stiel, das bei Windstille eine Angriffsfläche von 10,2 cm² hatte, reduzierte dieselbe bei einer Windgeschwindigkeit von 3 $\frac{m}{sec}$ auf 6,0 cm², bei einer Geschwindigkeit von 10 $\frac{m}{sec}$ auf 1,2 cm². Fig. 5. Die Bestimmungen wurden in der Weise ausgeführt, dass man mittelst einer, in einiger Distanz vom Blatt im Luftstrom selbst aufgestellten Camera lucida die Angriffsflächen direkt zeichnete und ihre Grösse mit einem Planimeter mass.

Bei einem andern Blatt änderte ich diesen Versuch in der Weise ab, dass ich den Stiel so einklemmte, dass nur die Spreite beweglich war, Fig. 6. Die Angriffsflächen nahmen die Werte an: Windstille 11,1 cm², Geschwindigkeit von 3 $\frac{m}{sec}$ 9,3 cm², Geschwindigkeit von 10 $\frac{m}{sec}$ 5,7 cm².

Bei sämtlichen angeführten Versuchen mit Blättern von *Populus nigra* war stets die Blattoberseite dem Winde zugekehrt. Weitere Versuche zeigten, dass in dem Verhalten des Blattes kein Unterschied besteht, je nachdem der Wind gegen die Oberseite oder gegen die Unterseite bläst.

Populus pyramidalis Salisb.

Auch hier kann, ähnlich wie bei *Populus nigra* ein Herabhängen der Spreite vorkommen, doch ist dasselbe viel weniger häufig.

Die Blätter werden schon durch einen schwachen Wind in Bewegung gesetzt. Bei einer Windgeschwindigkeit von 3 $\frac{m}{sec}$ ist ein lebhaftes Geräusch hörbar, welches vom Aneinanderschlagen der Blätter

herrührt. Diese führen pendelartige Schwingungen von grosser Amplitude aber nur mässiger Geschwindigkeit aus. Auch hier nimmt mit zunehmender Windgeschwindigkeit die Amplitude ab; die Blätter stellen sich möglichst in die Windrichtung ein, berühren und überdecken sich teilweise und bieten sich dadurch gegenseitig Halt und Schutz. Eine solche Stellung wird am leichtesten erreicht, wenn der Wind in Richtung des Zweiges und zwar von der Zweigbasis gegen die Zweigspitze hin bläst. Das sich Einstellen in die Windrichtung, welches bei allen leicht biegsamen Stielen vorkommt, bietet also neben der Verkleinerung der Angriffsfläche auch noch den oben erwähnten Vorteil.

Ein einzelnes Blatt, in ähnlicher Weise wie bei *Populus nigra* eingespannt, bewegt sich schon beim schwächsten Wind. Bei einer Windgeschwindigkeit von 3 $\frac{m}{sec}$ schwingt die Battspitze innerhalb eines Kreises von ca. 10 cm Durchmesser unregelmässig hin und her. Hiebei führt der Stiel Torsionen bis zu 360° aus und drillt sich abwechselnd auf und zu. Die in Fig. 7 angegebene Lage ist eine Mittelstellung,

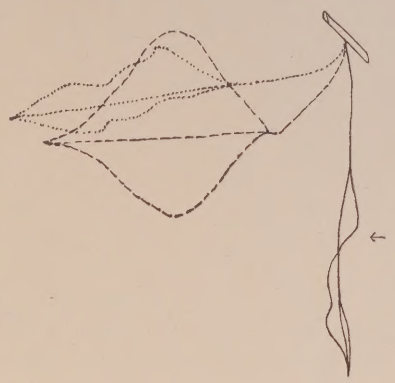


Fig. 7.

von welcher das bewegte Blatt gleichviel nach oben wie nach unten abweicht. Es sei noch auf die starke Biegung des Stiels in der Nähe des Spreitenansatzes hingewiesen. Diese Biegung ist ähnlich wie bei *Populus nigra* durch die abgeplattete Querschnittsform und eine an derselben Stelle erfolgte Torsion um 90° bedingt. Bei 10 $\frac{m}{sec}$ befand sich das Blatt oft längere Zeit in einer labilen Gleichgewichtslage, die in Fig. 7 angegeben ist. Die Stieltorsionen wuchsen mit der Windgeschwindigkeit und erreichten eine maximale Grösse von 720°. Die Gestalt der Spreite nimmt selbst bei einer Windgeschwindigkeit von 10 $\frac{m}{sec}$ keine andere Form an und erleidet auch dann, wenn der Stiel festgeklemmt ist, nur geringe Veränderungen.

Die Angriffsflächen nahmen, wenn der Stiel beweglich war, auf folgende Weise ab:

Angriffsfläche bei Windstille = 6,3 cm^2
„ „ Windgeschw. von 3 $\frac{m}{sec}$ = 4,2 cm^2
„ „ „ „ 10 $\frac{m}{sec}$ = 4,8 cm^2

Das Verhalten des Blattes ist dasselbe, gleichgültig, ob der Wind gegen die Unter- oder gegen die Oberseite bläst.

Populus balsamifera L.

Die Blätter werden schon durch einen schwachen Wind in kleine Bewegungen versetzt; bei einer Windgeschwindigkeit von 3 $\frac{m}{sec}$ schlagen sie schwach gegen einander, bei zunehmender Windstärke überdecken sich die Blätter teilweise, legen sich aneinander und verhindern auf diese Weise ein starkes Zusammenschlagen.

Da die Blattspreiten in der Regel nicht eben sind, sondern auf der Oberseite konkav und auf der Unterseite konvex, so bieten sich im Verhalten der Blätter Unterschiede dar, je nachdem der Wind senkrecht gegen die Ober- oder senkrecht gegen die Unterseite bläst.

Ist die Oberseite gegen den Wind gekehrt, so führt das Blatt bei 3 $\frac{m}{sec}$ Windgeschwindigkeit ziemlich langsame, pendelartige Schwingungen aus, wobei sich die Spreitenspitze innerhalb eines Kreises von 2 cm Durchmesser bewegt. Der Stiel tordiert sich hiebei bis um 90° und drillt sich abwechselnd auf und ab. Bei einer Windgeschwindgkeit von 10 $\frac{m}{sec}$ werden die Schwingungen heftiger, die Spreitenspitze bewegt sich innerhalb eines Kreises von 10 cm Durchmesser, die maximale Stieltorsion beträgt wieder 90°. Das Blatt kann aber auch für kürzere Zeit eine labile Gleichgewichtslage annehmen, dies ist in Fig. 8 der Fall, wo Schwerkraft und Elastizität des Stiels dem Drehungsmoment des Windes das Gleichgewicht halten. Die Gestalt der Spreite wird hiebei kaum verändert.

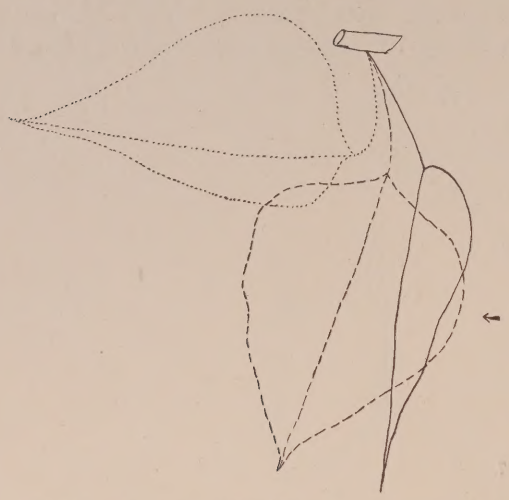


Fig. 8.

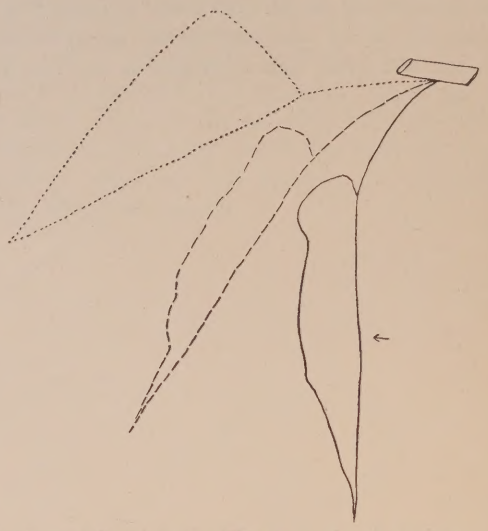


Fig. 9.

Kehrt das Blatt dem Wind die Unterseite zu, Fig. 9, so ist bei einer Windgeschwindigkeit von 3 $\frac{m}{sec}$ die Amplitude der Pendelbewegungen nur halb so gross und Torsionen finden überhaupt nicht statt. Das Blatt befindet sich jetzt im Gegensatz zum vorigen Fall gewissermassen in einer stabilen Gleichgewichtslage, in welche es auch nach kleinen Abweichungen wieder zurückkehrt, während vorhin das Blatt bei der ersten Gelegenheit die konkave Seite der Wirkung des Windes zu entziehen suchte, sich also gleichsam in labilem Gleichgewicht befand. Bei einer Windgeschwindigkeit von 10 $\frac{m}{sec}$ verdoppelt sich die Amplitude, während Torsionen auch jetzt ausbleiben. Die Bewegungen sind also viel lebhafter, wenn der Wind senkrecht gegen die Oberseite bläst. Auch die Beanspruchung des Stiels ist in beiden Fällen eine ganz andere. Bei 10 $\frac{m}{sec}$ Windgeschwindigkeit bildet der Stiel das eine Mal mit der Mittelrippe beinahe eine Gerade, während er das andere Mal mit ihr einen rechten Winkel einschliesst. Das Umbiegen des Stiels erfolgt auch hier direkt vor der Spreite und ist durch eine Torsion des zusammengedrückten Stiels um 90° bedingt.

Auch wenn der Stiel festgeklemmt ist, treten die Unterschiede zwischen Unter- und Oberseite wiederum sehr deutlich hervor. Ist die Oberseite dem Wind zugekehrt, so fängt sich derselbe in der konkaven Spreite, drückt dieselbe plan und biegt sie sogar nach der entgegengesetzten Seite um, Fig. 10. Bläst der Wind dagegen senkrecht gegen die Unterseite, so ist alles dies nicht der Fall; die Spreite änderte ihre Form nicht oder nur relativ wenig und wird auch um einen kleinern Winkel aus der Ruhelage entfernt, Fig. 11.

Für die Verkleinerung der Angriffsfläche ergaben sich folgende Werte:

Grösse der Angriffsfläche bei Windstille	=	14,8	cm²
„ „ „ „ Windgeschw. von 3 $\frac{m}{sec}$	=	6,8	cm²
„ „ „ „ „ „ 10 $\frac{m}{sec}$	=	8,0	cm²

Dieses Beispiel, sowie das vorhergehende zeigt, dass unter Umständen die Angriffsfläche bei stärkerem Wind auch grösser werden kann. Dieses durch eine ungünstige Lage verursachte Verhalten des Blattes muss natürlich unvorteilhaft sein und es werden — ceteris paribus — solche Blätter einem Unwetter eher zum Opfer fallen.

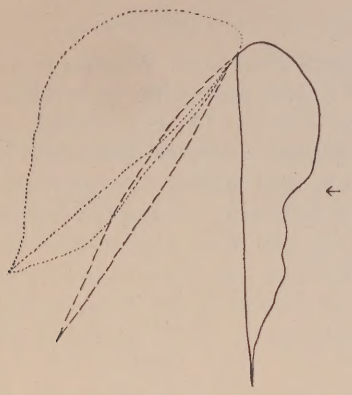


Fig. 10.

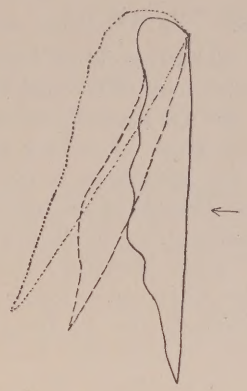


Fig. 11.

Populus tremula L.

Die Blätter werden schon durch einen äusserst schwachen Wind bewegt und schlagen bei einer Windgeschwindigkeit von 3 $\frac{m}{sec}$ lebhaft aneinander. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit stellen sich die Spreiten dem Wind mehr und mehr parallel und überdecken sich teilweise, wodurch die Stärke der Blattbewegungen bedeutend reduziert wird.

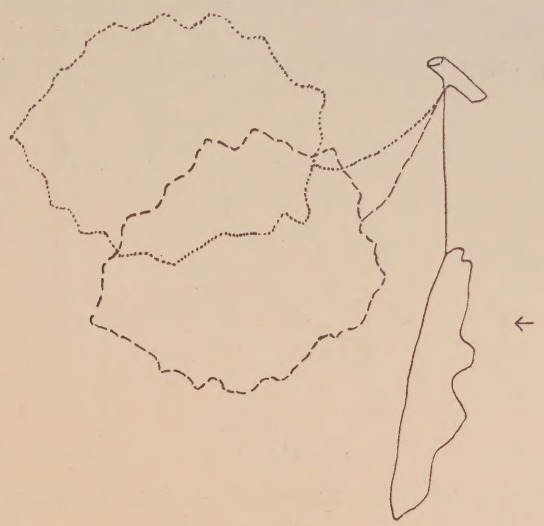


Fig. 12.

Das einzelne Blatt führt bei einer Windgeschwindigkeit von 3 $\frac{m}{sec}$ sehr lebhafte Pendel- und Torsionsschwingungen aus. In Fig. 12 ist eine mittlere Lage gezeichnet. Die maximale Torsion des Stieles beträgt 270°, die Blattspitze bewegt sich innerhalb eines Kreises von 5 cm Durchmesser. Bei 10 $\frac{m}{sec}$ Windgeschwindigkeit wurden am Stiel Drillungen bis um 630° beobachtet. Die Amplitude der Pendelschwingungen war dieselbe geblieben, während deren Geschwindigkeit ganz bedeutend zugenommen

hatte. Selbst bei sehr starkem Wind wird die Spreite nicht oder doch nur unmerklich verändert. Auch wenn der Stiel eingespannt ist, behält die Spreite beinahe vollständig ihre Gestalt bei. Ein abweichendes Verhalten, je nachdem die Unterseite oder die Oberseite dem Wind zugekehrt ist, war nicht bemerkbar.

Syringa vulgaris L.

Schon der schwächste Wind bewegt die Blätter. Bei einer Windgeschwindigkeit von 3 m/sec schwingen sie ziemlich lebhaft hin und her, ohne sich jedoch gegenseitig zu berühren, selbst bei 10 m/sec schlagen sie nicht oder nur äusserst schwach aneinander. Wie Taf. IV, Fig. 29 zeigt, ist die Steifigkeit der Spreite lange nicht so gross, wie bei den untersuchten Populus-Arten, es finden hier Verbiegungen senkrecht und parallel zur Mittelrippe statt; diese können so stark werden, dass hiedurch verschiedene Teile derselben Spreite zur Berührung gelangen. Am meisten deformiert werden die Spreiten der Blätter, die dem Wind entgegenstehen, am wenigsten die Spreiten der vom Wind abgewandten Blätter, in der Mitte stehen die Blätter, deren Mittellinie senkrecht zur Richtung des Windes orientiert ist. Neben der geringen Steifigkeit der Spreite ist es ferner noch die grosse Steifigkeit des Stiels, welche dieses Verhalten bedingt. So unregelmässig nun die Biegungen und Faltungen der Spreite auch sein mögen, sie bezwecken alle ein und dasselbe, nämlich eine Verkleinerung der dem Wind dargebotenen Angriffsfläche. Lässt man den Wind in verschiedenen Richtungen auf den Zweig treffen, so stellen sich die Blätter dann am leichtesten und vollkommensten der Windrichtung parallel, wenn der Wind in der Richtung des Zweiges von der Basis gegen die Spitze hin bläst. Man dürfte wohl leicht geneigt sein, dies auf eine grössere Biegungsfähigkeit des Stiels in der Richtung gegen die Spitze zurückzuführen. Wir haben aber früher an andern Pflanzen gesehen, dass, wenn auch solche Unterschiede in der Biegungselastizität vorkommen, sie doch nur einen rein individuellen Charakter tragen, indem sie bei verschiedenen Blättern desselben Zweiges sich vollständig umkehren können, so dass der eine Stiel in der einen, der andere in der entgegengesetzten Richtung die grösste Biegungsfähigkeit zeigt. Da nun aber regelmässig alle Blätter sich der genannten Windrichtung am leichtesten parallel stellen, so muss schon aus diesem Grunde die Ursache anderswo gesucht werden; es sind übrigens auch die Unterschiede im Verhalten der Blätter bei verschiedener Windrichtung ungleich grösser als die Unterschiede in der Biegungselastizität des Stiels.

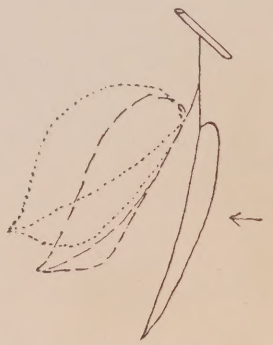


Fig. 13.

Die Ursache liegt hier einfach in der gegenseitigen Lage von Stiel und Zweig. Da die Oberseite des Stiels mit dem Zweig einen spitzen Winkel bildet, so wird schon eine relativ kleine Annäherung des Stiels an den Zweig einer Parallelstellung nahe kommen, während eine gleich starke Biegung im entgegengesetzten Sinne Stiel und Zweig eher senkrecht zu einander stellt.

Ein einzelnes Blatt, so eingespannt, dass in der Ruhelage der Wind senkrecht auf die Oberseite traf, führte lebhafte pendelartige Schwingungen aus, bei denen sich die Spitze des in Fig. 13 abgebildeten Blattes auf einem Bogen von 2 cm Länge auf und ab bewegte. Mit Zunahme der Windgeschwindigkeit bis auf 10 m/sec wuchs die Amplitude um das drei- bis vierfache. Die Schwingungen fanden jeweils

senkrecht zur Spreitenfläche statt. Bemerkenswerte Unterschiede, je nachdem der Wind gegen die Unter- oder Oberseite bläst, sind nicht vorhanden.

Die Angriffsfläche wird bei Zunahme des Windes vermindert, sowohl durch Biegungen senkrecht zur Mittelrippe als auch durch solche parallel zu derselben.

Angriffsfläche bei Windstille		= 19,8 cm²
„	„ Windgeschw.	3 $\frac{m}{sec}$ = 16,5 cm²
„	„ „	10 $\frac{m}{sec}$ = 7,9 cm²

Acer Pseudoplatanus L., Varietät.

Wie die Photographien Taf. IV, Fig. 30 und 32 zeigen, waren die Spreitenhälften etwas zusammengebogen, so dass die Spreite auf der Oberseite eine konkave, auf der Unterseite eine konvexe Wölbung erhielt. Ist die Oberseite dem Winde zugekehrt, so fängt sich derselbe in der konkaven Spreite und bringt eine stärkere Biegung zustande, als wenn er gegen die konvexe Unterseite stösst. Aber nicht nur die Abweichung von der Ruhelage ist bedeutender, auch die Amplitude der Pendelschwingungen ist grösser sowohl bei 3 $\frac{m}{sec}$ als bei 10 $\frac{m}{sec}$ Windgeschwindigkeit. Die Stelle, die das Blatt in Fig. 14 ein-

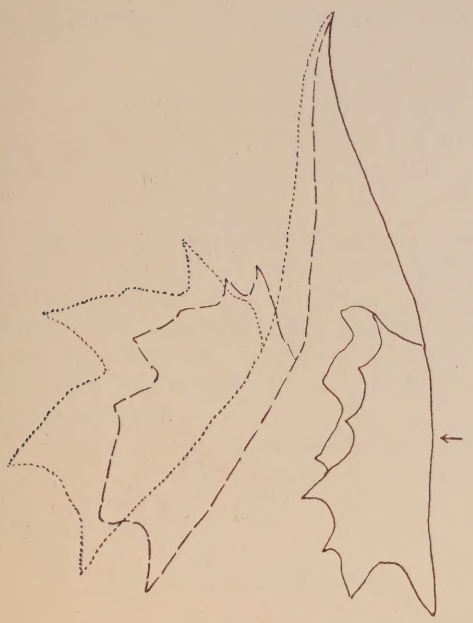


Fig. 14.

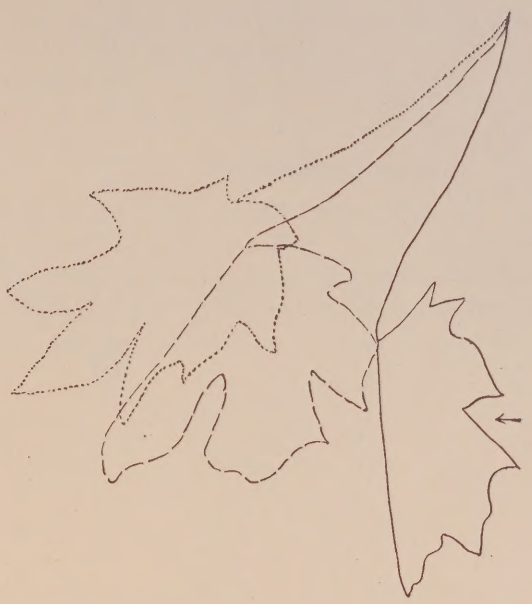


Fig. 15.

nimmt, ist ferner als stabile Gleichgewichtslage zu bezeichnen, der die Stellung in Fig. 15 als labile Gleichgewichtslage gegenübergestellt werden kann. Nur dann nämlich, wenn die, gleichsam um die Mittelrippe drehbaren Spreitenflügel die in Fig. 14 gezeichnete Stellung einnehmen, kehren sie, nach kleineren Verschiebungen wieder selbständig in diese Lage zurück, in Stellung 15 dagegen machen sich Drehungsmomente geltend, welche auf eine Herstellung der Lage 14 hinzielen und an der Erreichung ihres Zieles nur durch die Torionselastizität des Stieles verhindert werden. Neben der Krümmung der Spreite scheint mir auch diejenige des Stiels an dem genannten Verhalten des Blattes mitbeteiligt zu sein.

Bei der in Fig. 14 angedeuteten Stellung führt nicht nur das Blatt als Ganzes Schwingungen aus, sondern auch die Spreitenlappen bewegen sich lebhaft hin und her.

Ist der Stiel eingeklemmt und nur die Spreite beweglich, so wird sie, wenn die Oberseite dem Wind zugekehrt ist, vollständig umgestülpt, Fig. 16, während im andern Fall die Spreitenhälften einfach etwas mehr zusammengebogen werden, Fig. 17.

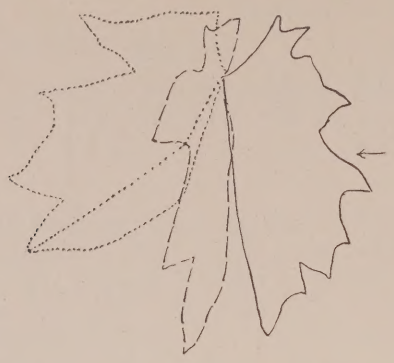


Fig. 16.

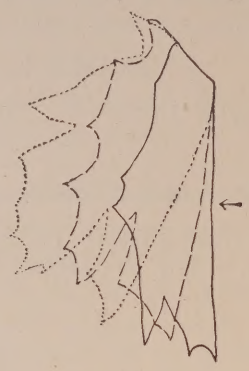


Fig. 17.

Ueber die mit zunehmender Windstärke erfolgende Verkleinerung der Angriffsfläche eines Blattes mit frei beweglichem Stiel ergab sich folgendes:

Angriffsfläche bei Windstille = 77,7 cm²
„ „ Windgeschw. von 3 $\frac{m}{sec}$ = 48,6 cm²
„ „ „ „ 10 $\frac{m}{sec}$ = 46,2 cm²

Acer campestre L.

Es wurden zwei Blätter untersucht; bei dem einen waren in der Ruhelage Stiel und Spreite in einer Ebene, bei dem andern standen sie beinahe rechtwinklig aufeinander. In dem ersten Falle wiederholt sich schon Bekanntes. In dem zweiten Fall ist der Unterschied in dem Verhalten des Blattes interessant, je nachdem der Wind senkrecht gegen die Ober- oder gegen die Unterseite bläst. Wird näm-

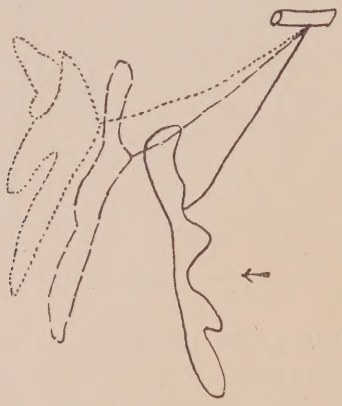


Fig. 18.

Fig. 19.

lich die Unterseite vom Wind getroffen, Fig. 18, so wird, da Stieloberseite und Zweig einen spitzen Winkel einschliessen, der Stiel weniger auf Biegung als auf Zug beansprucht und stellt sich in eine stabile Gleichgewichtslage ein. Wenn die Oberseite dem Wind zugekehrt ist, Fig. 19, so sind es im Gegenteil Biegungs- und Druckkräfte, die auf den Stiel einwirken. Die Gleichgewichtslage ist jetzt viel weniger stabil, weil die Biegungselastizität einen bedeutend kleinern Wert hat als die Zugelastizität.

Ulmus campestris L.

Schon der schwächste Wind bewegt die Blätter. Stehen Windrichtung und Spreitenfläche senkrecht aufeinander, so stellen sich bei einer Windgeschwindigkeit von 10 $\frac{m}{sec}$ die Blätter der Windrichtung beinahe parallel, schwingen lebhaft hin und her und schlagen dabei von Zeit zu Zeit aneinander. Taf. VII, Fig. 55 und 56. Das Verhalten ist dasselbe, ob der Wind senkrecht gegen die Ober- oder Unterseite des Blattes bläst. Kommt der Wind von der Seite, also den Spreiten parallel, so werden die dem Wind zugekehrten Blätter so weit umgebogen, bis sie der Windrichtung annähernd parallel sind, die abgekehrten Blätter geraten in kleinere pendelartige Schwingungen, ohne irgend welche nennenswerte Deformationen zu erleiden.

Ein einzelnes Blatt mit der Spreite senkrecht zur Windrichtung gestellt, biegt sich an seiner Basis, so dass die Spreite, selbst bei einer Windgeschwindigkeit von 10 $\frac{m}{sec}$ ihre Gestalt beibehält. Fig. 19 a. Die Blattspitze schwingt senkrecht zur jeweiligen Spreitenebene und beschreibt bei einer Wind-

Fig. 19 a.

geschwindigkeit von 3 $\frac{m}{sec}$ einen Bogen von 3 cm Länge, bei einer Windgeschwindigkeit von 10 $\frac{m}{sec}$ einen solchen von 4 cm Länge. Diese Pendelschwingungen werden mit bedeutender Geschwindigkeit ausgeführt. Wie stark bei senkrechtem Auftreffen des Windes die Angriffsfläche verkleinert wird, geht aus folgendem hervor:

Angriffsfläche bei Windstille		=	18,3 cm²
„	„ Windgeschw. von 3 $\frac{m}{sec}$	=	12,9 cm²
„	„ „ „ 10 $\frac{m}{sec}$	=	9,3 cm²

Robinia Pseudacacia L.

Durch die starke Biegung des Blattstiels wird die Angriffsfläche so stark verkleinert, dass ein Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschwindigkeit nicht ausreicht, um auch noch eine Parallelstellung der Teilblättchen zu erzielen, Taf. IV, Fig. 34 und 35.

Ilex Aquifolium L.

Sowohl die Sprossachse als die Blätter besitzen, wie die Taf. V, Fig. 36 und 37 zeigen, eine grosse Steifigkeit, nur die jüngsten Elemente zeigen bedeutende Deformationen. Das Verhalten eines ältern, senkrecht zur Windrichtung stehenden Blattes zeigt Fig. 20 . Ein Wind von 3 $\frac{m}{sec}$ bringt keine nennenswerte Veränderung der Gleichgewichtslage zustande. Die Blattspitze bewegt sich senkrecht zur Spreite auf einem Bogen von ca. 2 mm Länge äusserst lebhaft hin und her; bei 10 $\frac{m}{sec}$ Geschwindigkeit wird die Amplitude verdoppelt. Fig. 21 zeigt die Gleichgewichtslagen eines jungen Blattes. Die Sprei-

tenfläche wird bedeutend schiefer gestellt als im vorigen Fall, erleidet aber auch hier keine Gestaltveränderung. Die Amplituden sind mehr wie doppelt so gross als beim ältern Blatt.

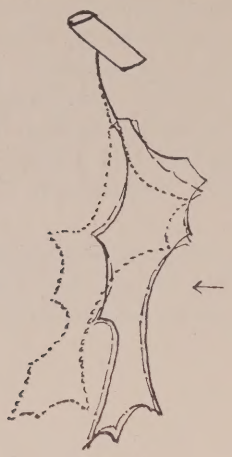


Fig. 20.

Fig. 21.

Die Verkleinerung der Angriffsfläche eines jüngeren Blattes geht aus folgendem hervor:

Angriffsfläche bei Windstille = 12,0 cm²
„ „ Windgeschw. von 3 $\frac{m}{sec}$ = 12,0 cm²
„ „ „ „ 10 $\frac{m}{sec}$ = 9,7 cm²

Aesculus Hippocastanum L.

Trifft der Wind senkrecht auf die Oberseite der Blätter, so werden die Teilspreiten senkrecht zur jeweiligen Mittelrippe stark gebogen. In der Regel sind nämlich die Spreitenhälften der Teilblätter mit den Oberseiten ein wenig gegeneinander geneigt. Im Wind wird diese Neigung aufgehoben. In diesem Moment besitzt das Teilblatt eine sehr geringe Steifigkeit, welche der Wind benützt, um dasselbe senkrecht zu seiner Mittelrippe zu biegen. Ist dagegen (Fig. 38 und 39) die Unterseite dem Wind zugekehrt, so findet sofort ein Gegeneinanderklappen je zweier Teilblatthälften statt, durch welches die Steifigkeit so erhöht wird, dass keine Biegungen senkrecht zur Mittelrippe vorkommen. Diese Unterschiede werden noch dadurch verstärkt, dass die Teilspreiten parallel ihrer Längsachsen meist etwas gebogen sind und zwar in der Art, dass die Konvexität auf der Oberseite liegt. Sind dagegen die Spreiten bei Windstille völlig eben, so kommen die genannten Unterschiede nicht vor.

Mit wenigen Worten soll auch auf die Frage eingegangen werden, ob Krümmungen des ruhenden Blattstiels Veränderungen der Steifigkeit in verschiedenen Richtungen bedingen können.

Der Stiel besitze die in der nebenstehenden Fig. 22 angedeutete Krümmung und werde das eine Mal durch eine Kraft a, das andere Mal durch eine gleich grosse aber in entgegengesetztem Sinn wirkende Kraft d deformiert. Die senkrecht auf dem Stielende stehenden Komponenten c und f sind gleich gross und können daher keine Unterschiede in der Deformation bedingen; die andere Komponente wirkt in dem einen Fall als Zug b, in dem andern als Druck e. Wenn wir nun b und e in ihrer Richtung gegen die Stielbasis verschieben, so ergeben sie je 1 Komponente, die auf der neuen Stielrichtung senkrecht steht und daher den Stiel zu biegen sucht, aber auch diese Komponenten sind gleich. Die Biegungspfeile, welche die Kräfte a und d erzeugen, müssen also — von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet — gleich gross sein.

Dass aber durch die Längenunterschiede der konvexen und konkaven Stielseite kein Unterschied in den Biegungspfeilen hervorgerufen werden kann, dürfte die folgende Betrachtung zeigen.

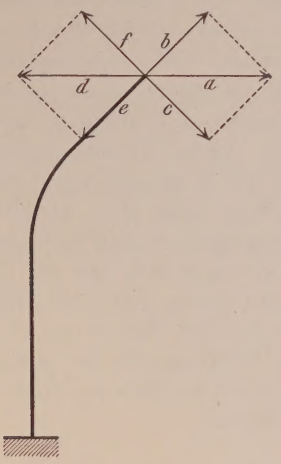


Fig. 22.

Die Länge der konvexen Stielseite betrage 50, die der konkaven 40 Längeneinheiten, falls nun 10 Längeneinheiten durch den Zug auf 11 ausgedehnt, durch den Druck auf 9 zusammengedrückt werden, so wird bei Kraftrichtung a

die konvexe Seite verlängert auf 55 Längeneinheiten,
die konkave Seite verkürzt auf 36 Längeneinheiten,
die Differenz beträgt 19 Längeneinheiten.

Bei Kraftrichtung d wird

die konkave Seite verlängert auf 44 Längeneinheiten,
die konvexe Seite verkürzt auf 45 Längeneinheiten,
die Differenz beträgt 1 Längeneinheit.

Der Unterschied zwischen der Differenz in der Ruhelage beträgt in dem einen Fall + 9, in dem anderen — 9, der absolute Wert und daher auch die Grösse des Biegungspfeiles ist in beiden Fällen gleich.

Diese theoretischen Betrachtungen über das Verhalten krummer Stiele führen aber zu einem Resultat, das der Wirklichkeit nicht entspricht. Ein der Untersuchung unterworfener Stiel von *Aesculus* ergab, wenn die Kraft die Richtung a hatte, einen Biegungspfeil von 3,4 mm, während dieselbe Kraft in Richtung d eine Senkung von nur 2,9 mm hervorbrachte.

Die verschiedene Biegungsfähigkeit eines Stiels nach verschiedenen Richtungen muss daher meiner Ansicht nach auf dem Umstand beruhen, dass die obere und untere Hälfte des Stielquerschnittes nicht symmetrisch sind. Dieser Bau kann verursacht sein entweder allein durch die äussere Querschnittsform oder allein durch die Anordnung der mechanisch wirksamen Elemente oder endlich durch die Kombination der beiden genannten Momente. Es ist ferner zu berücksichtigen, dass auch durch Turgorveränderungen, welche auf den verschiedenen Stielseiten nicht gleichartig erfolgen, ähnliche Erscheinungen hervorgerufen werden können. Besteht z. B. die Druckseite vorzugsweise aus Parenchym, so wird dieselbe nur im turgescenten Zustand dem Druck einen nennenswerten Widerstand entgegensetzen. Die Zugelastizität desselben Gewebes wird durch die Turgescenz vielleicht auch, sicherlich aber lange nicht so stark beeinflusst. Mit zunehmendem Welken müssen also hier Unterschiede in der Biegungsfähigkeit nach verschiedenen Richtungen eintreten oder falls solche Unterschiede schon vorhanden waren, sich ändern. Wie weit sich aus den angeführten Ursachen in jedem Spezialfall die verschiedene Biegungsfähigkeit mechanisch erklären lässt, ist noch zu untersuchen.

Nachdem meine Versuche schon abgeschlossen waren, stiess ich auf eine Arbeit Wiesners (131), in welcher die verschiedene Biegungsfähigkeit eines Stiels in verschiedenen Richtungen bereits konstatiert worden ist. Wiesner führt als Ursache des Unterschiedes bei *Phaseolus multiflorus* die Anordnung der Gefässbündel an, ohne jedoch auf den Zusammenhang zwischen anatomischem Bau und mechanischer Eigenschaft näher einzutreten. Der Biegungswiderstand wurde von Wiesner (l. c. pg. 673) in der Weise bestimmt, dass er das Organ genau horizontal festklemmte und am freien Ende durch eine gewogene Wagschale beschwerte, auf welche so lange Gewichte gelegt wurden, bis die erste Spur einer Senkung des Organs eintrat. Durch Umdrehung der Klemme des Apparates war es möglich, ohne neue Einklemmung den Stiel mit der Unterseite nach oben zu richten. Ein schönes Beispiel verschiedener Biegungsfähigkeit erwähnt Wiesner (l. c. pg. 676). „Nimmt man beispielsweise einen Lindenspross, dessen Blätter nahezu ausgewachsen sind und längere Zeit hindurch von kräftigem Lichte getroffen wurden, und richtet man den Zweig derart, dass ein Blatt, mit der Oberseite nach oben, genau horizontal zu liegen kommt, so wird man finden, dass der Stiel gleich der Spreite ziemlich genau die horizontale Lage einhält. Wendet man nun den Spross um, so hängt die Spreite nach abwärts und der Stiel ist konkav nach unten gekrümmt. Während also bei normaler Stellung das Gewicht der Spreite es nicht vermochte, den Stiel zu biegen, reicht bei inverser Lage des Stiels das gleiche Gewicht aus, um eine sehr kräftige Biegung herbeizuführen."

Salix babylonica L.

Zweig und Blatt bewegen sich schon bei äusserst schwachem Wind. Die bei Windstille schlaff herabhängenden Blätter stellen sich bei einer Windgeschwindigkeit von 10 $\frac{m}{sec}$ in die Windrichtung als Gleichgewichtslage ein und führen dabei sehr lebhafte Bewegungen aus, ohne jedoch häufig aneinander zu schlagen; am leicht biegsamen Zweigende brauchen dabei die Blätter ihre Stellung zum Zweig nicht zu ändern. Taf. V, Fig. 42 und 43. Bemerkenswert ist ferner auch die äusserst leichte Beweglichkeit des Stiels, welche es dem Blatt erlaubt, ohne Deformation der Spreite den beliebigen Windrichtungen sich parallel zu stellen.

Agrostis pulchella.

verhält sich ähnlich wie *Salix babylonica*, Taf. V, Fig. 44 und 45.

Liriodendron tulipifera L.

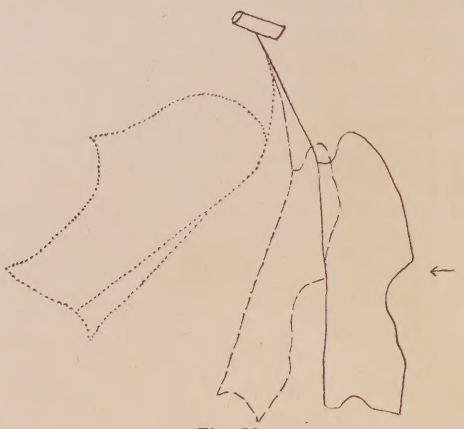


Fig. 23.

Über das Verhalten eines einzelnen Blattes gibt Fig. 23 Aufschluss. Es sei bemerkt, dass der Stiel auch Torsionen bis zu 45° ausführt und dass die Spreitenhälften bei Windstille mit den Oberseiten, bei Windgeschwindigkeit von 10 $\frac{m}{sec}$ gegen die Oberseite dagegen mit den Unterseiten gegeneinander neigen.

Acer Negundo L.

Die vom Wind abgekehrten Blattstiele werden auf Zug, die dem Wind zugekehrten aber sehr stark auf Biegung in Anspruch genommen. Durch die Fiederung der Blätter wird eine Parallelstellung natürlich bedeutend erleichtert.

Betula alba L.

Die Blätter werden schon durch den schwächsten Wind bewegt und schlagen bei einer Windgeschwindigkeit von 3 $\frac{m}{sec}$ lebhaft aneinander, wodurch ein starkes Rauschen erzeugt wird, das mit Zunahme des Windes wächst. Infolge der, im Verhältnis zur Stiellänge langen Internodien kann ein erfolgreiches Überdecken nicht zustande kommen, trotzdem auch hier der Zweig sein Möglichstes tut, um die Blätter auf diese Art zu schützen. Wo sich die Blätter nicht aneinander legen können, suchen sie sich an irgend einen andern Gegenstand hilfesuchend anzuschmiegen, so z. B. an die Zweigachse Taf. VI, Fig. 46 und 47.

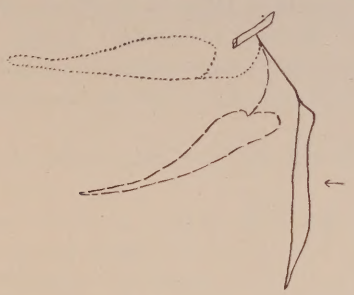


Fig. 24.

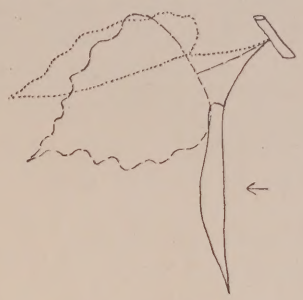


Fig. 25.

Über das Verhalten eines einzelnen Blattes geben die Fig. 24 und 25 Auskunft; sie zeigen auch wie verschieden der Stiel beansprucht wird, je nachdem die Unter- oder die Oberseite dem Wind zugekehrt ist. Die maximale Torsion des Stieles beträgt 250°. Die in den Fig. 24 und 25 gezeichneten Stellungen sind nur mittlere Gleichgewichtslagen, um welche die Blätter mit äusserst grosser Amplitude umherschwingen.

Sorbus aucuparia L.

Wegen der grossen Biegsamkeit des Stiels erleiden nur die basalen Teilblätter starke Deformationen. Durch eine Torsion des Stiels um 90° wird ferner die Angriffsfläche der Gesamtspreite sofort auf ein Minimum reduziert, Taf. VI, Fig 48.

Am wenigsten beeinflusst werden natürlich diejenigen Blätter, welche dem Wind eine möglichst geringe Angriffsfläche bieten, besonders, wenn sie dazu noch steif gebaut sind. Dies finden wir bei *Buxus sempervirens L.*, Taf. VI, Fig. 49 und 50, und in noch erhöhtem Maße bei *Picea excelsa DC.* und *Tamarix gallica L.*, Fig. 51, 52, 53 und 54.

Die Fig. 57—64, Taf. VII, illustrieren das Verhalten von *Castanea sativa* Mill., *Corylus Avellana L.*, *Fagus silvatica L.*, *Carpinus Betulus L.* In allen diesen Fällen war jeweils die Oberseite dem Wind zugekehrt.

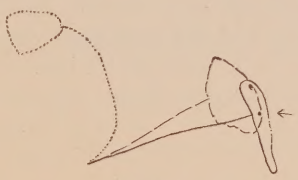


Fig. 26.

Zum Schluss sei noch ein Blatt von *Tropaeolum* erwähnt. Der, Fig. 26, in Richtung des Pfeiles auftretende Wind stülpt zuerst die Spreite in der einen Richtung um, dann aber, als er stark genug war, um den Stiel zu biegen, in der andern.

Was an diesen Versuchen auffällt, ist vor allem die ausserordentlich grosse Mannigfaltigkeit in dem Verhalten der Blätter. In ein und demselben Windstrom bewegen sich, wie wir gesehen haben, nicht nur Blätter verschiedener Species verschieden, sondern auch Blätter der gleichen Species. Oft verhält sich sogar dasselbe Blatt unter denselben äussern Umständen bald so, bald anders. Wie verschieden aber auch die Mittel sind, der Zweck ist immer derselbe. Die Tendenz aller dieser Biegungen und Drillungen ist immer die, die dem Wind dargebotene Angriffsfläche zu reduzieren und den Hebelarm des deformierenden Momentes möglichst zu verkleinern. Dank dem günstigen Bau, den die Blätter besitzen, besorgt der Wind diese Aufgabe von selbst, indem er sie eben so lange biegt und drillt, als er eine nachgiebige Angriffsfläche findet.

Jeder Spaziergang bei windigem Wetter zeigt uns, dass das Blatt unter normalen Verhältnissen nicht verletzt wird, sei es nun, dass es steif und unbiegsam ist, und dem Winde Trotz bietet, sei es, dass das Blatt durch eine grosse Biegungsfähigkeit allen Angriffen auszuweichen sucht. Dass die steifen Blätter in der Regel eine kleine Fläche besitzen, ist aus zwei Gründen leicht verständlich. Einmal ist zur Erzeugung eines steifen Blattes eine relativ grosse Menge Material notwendig, welche bei grosser Ausdehnung des Blattes in unzweckmässiger Weise würde gesteigert werden müssen, anderseits würde hiedurch dem Wind eine grosse Angriffsfläche geboten und dadurch auch eine entsprechende Steigerung der Zweigfestigkeit notwendig gemacht.

Ist das Blatt biegsam, so kann dies beruhen entweder auf der Biegsamkeit des Stiels oder der Spreite oder auf der Kombination beider.

Viele *Populus*-Arten zeigen z. B. nur Biegungen des Stiels, da das Verhältnis von Stiel- und Spreitensteifigkeit eben gerade ein solches ist, dass durch die Krümmung des Stiels jeweils eine solche Verringerung der Angriffsfläche herbeigeführt wird, dass die wirksame Komponente des Windes eine Deformation der Spreite nicht mehr erzeugen kann. Die früher zahlenmässig festgestellten Unterschiede in der Biegungsfähigkeit der Stiele geben übrigens noch lange kein erschöpfendes Bild von der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen. Eine gleich starke Biegung gleichlanger Stiele kann auf sehr verschiedene Weise zustande kommen. Es kann die Biegung auf die Basis oder die Spitze des Stiels beschränkt sein oder endlich sich mehr gleichförmig auf seine ganze Länge verteilen. Ein Blick auf die Tafeln rechtfertigt diese Behauptung ohne weiteres.[1]

Biegsame Spreiten mit steifem Stiel finden sich vor allem bei kurzgestielten Blättern; vom rein mechanischen Standpunkt aus gehören die stiellosen Monocotylenblätter in die gleiche Kategorie.

Weitaus am häufigsten ist der dritte Fall, in welchem Stiel und Spreite sich deformieren, doch gibt es auch hierin die grösste Mannigfaltigkeit, indem sich alle möglichen Übergänge finden zwischen den beiden vorhin genannten Extremen.

Die Biegungen der Spreite bestehen entweder in einem, längs der Mittelrippe stattfindenden Zusammenklappen der Ober- oder Unterseite oder in einer Biegung senkrecht zur Mittelrippe oder in beliebigen andern Richtungen. In welcher Weise eine Spreite verändert wird, hängt natürlich ebenso sehr von ihrer geometrischen Form als ihrem mechanischen Bau ab. Lange, schmale Spreiten sind, ceteris paribus, senkrecht zur Mittelachse leichter beweglich als kurze und breite; durch das Vorhandensein eines starken Mittelnervs wird übrigens solchen Biegungen erheblich entgegengewirkt.

Die Stärke der Drillung, welche ein Stiel erleidet, ist ausser von seiner Torsionsfähigkeit auch abhängig von der geometrischen Gestalt und der Steifigkeit der Spreite, weil durch diese Faktoren der Hebelarm der tordierenden Kraft und z. T. auch ihre Grösse bestimmt wird.

Der Stiel wird auf Biegung und Torsion, höchst selten auch erheblich auf Zug beansprucht, da in der Regel dann, wenn — bei Parallelstellung — Beanspruchung auf Zug eintreten würde, die Angriffsfläche kolossal reduciert ist. Im Gegensatz zu den Luftblättern, die wir hier im Auge hatten, werden wir bei submersen Wasserblättern zugfeste Organe treffen.

---

[1] An dieser Stelle soll auch der umgewendeten Blätter gedacht werden, welche entweder durch Überneigen oder durch Torsion des Stiels entstehen. In beiden Fällen soll damit nach Stahl (109 pg. 151) in mechanischer Hinsicht ein Vorteil verbunden sein, indem beim Überneigen durch die günstigen Hebelverhältnisse, bei der Torsion durch die mechanischen Eigenschaften des tordierten Stiels die Gefahr der Knickung durch Regenschlag beträchtlich verringert wird.

Ein Unterschied in dem Verhalten der Blätter, je nachdem der Wind senkrecht gegen die Ober- oder Unterseite der Spreite bläst, findet nur dann statt, wenn das Blatt in Bezug auf eine, in der Spreitenfläche liegende Ebene der äussern Form nach nicht symmetrisch gebaut ist. Diese Unterschiede müssen aber schon ziemlich bedeutend sein, um einen nennenswerten Einfluss ausüben zu können.

Durch das Aneinanderlegen der Spreiten wird ein bedeutender Schutz erzielt, der für Pflanzen windiger Standorte sicherlich von grosser Wichtigkeit ist, nicht nur wegen der Verminderung der mechanischen Beanspruchung, sondern auch wegen der Herabsetzung der Transpiration. Je welker das Blatt ist, um so leichter ist es beweglich und um so schneller und sicherer wird daher auch diese günstige Stellung eingenommen.

Die Einstellung des Blattes in die Windrichtung wird häufig unterstützt durch die leichte Beweglichkeit des Zweiges; als Beispiele seien erwähnt die abgebildeten Zweige von *Salix babylonica* und *Tamarix gallica*. Die Blätter, die an dem in der Windrichtung stehenden Zweigstück sitzen, erhalten dabei den besten Schutz, den sie bekommen können, da die basalen Blätter, gleich einem Schild, den Wind von ihnen abhalten.

Bei bestimmtem Auffallswinkel und bestimmter Stärke des Windes nehmen steifere Blätter eine bestimmte Gleichgewichtslage an, leicht bewegliche Blätter dagegen zeigen oft zwischen gewissen, durch die mechanischen Eigenschaften bedingten Grenzen die denkbar grösste Mannigfaltigkeit, indem nicht nur verschiedene Bewegungsarten miteinander abwechseln, sondern auch Stadien von Bewegung und Ruhe in buntem Durcheinander sich folgen.

Wenn hier von Ruhe gesprochen wurde, so geschah dies nur, um den Gegensatz zwischen dem Stadium der Bewegung deutlich hervorzuheben; um eine absolute Ruhe handelt es sich nicht. Torsions- oder Pendelschwingungen mit kleiner Amplitude sind immer vorhanden und äussern sich bei langen, biegsamen Spreiten durch äusserst lebhaftes Flattern.

Im Anschluss mag noch einer Erscheinung gedacht werden, die ebenfalls bei Wind eintritt, ich meine den Farbenwechsel der Krone. Die Stärke desselben ist abhängig von dem Unterschied der Färbung zwischen Unter- und Oberseite des Blattes, der Stellung und Beweglichkeit des Blattes und besonders des Astes und endlich von der Stärke und Richtung des Windes. Ist der Ast nach aufwärts geneigt, so muss der Wind, falls er gegen die Astspitze bläst, den Ast noch mehr heben und wird daher die Blätter leicht von der Unterseite angreifen und dergestalt biegen können, dass die Unterseite nach aussen gekehrt ist. Wenn die Oberseite grün, die Unterseite weiss gefärbt ist, so besitzt die Krone auf der dem Wind zugekehrten Seite im Ruhezustand eine grüne, bei Wind eine weisse Farbe. Bläst der Wind umgekehrt gegen die Basis des Astes, so wird dessen Neigung gegen den Horizont vermindert und die Blätter müssten, falls sie unbeweglich wären, ihre Oberseite noch deutlicher zeigen. Da nun die Blätter aber beständig mit grösserer oder kleinerer Amplitude umherschwingen, so wird auch jetzt dann und wann eine Unterseite gesehen werden. Wenn die Blätter leicht beweglich und die Farbenunterschiede gross sind, muss schon der leiseste Wind, einzig infolge der Schwingungen der Blätter, die bald die Ober- bald die Unterseite dem Auge zukehren, die Kronenfärbung beeinflussen. Bei stärkerem Wind gesellt sich dann die Bewegung des Astes noch hinzu.

4. Mechanische Eigenschaften der Spreite.

a. Biegungsfähigkeit.

Das mechanische Verhalten ist durch die geometrische Gestalt und den anatomischen Bau bedingt.

Geometrische Gestalt.

Vorrichtungen, welche in hohem Masse die Steifigkeit fördern, sind die Rollungen und ein- bis mehrfachen Faltungen der Spreiten, denen wir bei Monocotylen häufig begegnen. Die Ausbildung einer im Querschnitt halbmondförmigen Mittelrippe (z. B. Musa) trägt ebenfalls zur Steifigkeit in der Längsrichtung bei. Auch die Torsionen der *Typha*-Blätter erhöhen ihre Steifigkeit wesentlich. Über diesen

Punkt sowie über die weiteren mit der Torsion verbundenen Vorteile, wie die veränderte Angriffsweise des Windes sehe man bei Schwendener (107, pg. 104) nach.

Befinden sich die Spreiten an recht exponierten Standorten — ich erinnere vor allem an die submersen Gewächse fliessender Gewässer — so sind solche Vorrichtungen oft nicht nur nicht nützlich, sondern unter Umständen sogar schädlich, indem eine solche, dem Wind und Wasser grossen Widerstand bietende Konstruktion auch für die Sprossachse eine grössere Steifigkeit fordert und häufig auch für Blatt und Stamm mehr Material verlangt. Dass aber die Pflanze da, wo sie auf einfacherem und billigerem Wege ihre Existenz sichern kann, den letztern einschlägt, ist nichts als zweckmässig, und so begreift es sich denn auch, dass wir an Blattspreiten häufig Vorrichtungen finden, die den Zweck haben, eine möglichst grosse Biegungsfähigkeit herzustellen. Die schmalen, langen Lanzettblätter, die Teilung, Spaltung und Fiederung der Spreiten sind ausgezeichnete Mittel zur Verminderung des Biegungswiderstandes. Eine schöne Illustration zu dem eben Gesagten bietet das bekannte Zerschlitzen der *Musa*-Blätter, das eintritt, sobald der Wind das Blatt zu knicken droht.[1]

Interessant ist auch ein Vergleich unserer *Populus*-Blätter; die grössten Spreiten *(Populus alba)* sind auch am stärksten geteilt. Ähnliches findet sich bei *Artocarpus;* die kleinern *integrifolia*-Blätter sind ungeteilt, die riesigen *incisa*-Blätter tief eingeschnitten (Stahl 109). Von Stahl wurde auch für *Acer-* und *Quercus*-Arten gezeigt, dass die Ganzrandigkeit der tropischen Blattformen mit einer Verlängerung der Spreite verbunden ist, wodurch die durch Aufhebung der Spreitenteilung verringerte Biegungsfähigkeit auf andere Weise wieder hergestellt wird. Von Interesse ist ferner das Verhalten der Palmblätter. Die Blätter mit eingeschlagenen Fiedern, die eine nach oben offene Hohlrinne darstellen, sind sehr steif, die mit zurückgeschlagenen, leicht biegsam. Mit diesem mechanischen Verhalten sucht es Stahl in Einklang zu bringen, dass *Phoenix* von den regenreichsten Teilen Indiens, in denen Palmen mit zurückgeschlagenen Fiedern zahlreich vertreten sind, sich fast fernhält.

Ausserst biegungsfähig sind auch die Blätter submerser Pflanzen, deren Spreiten bekanntlich so viel als möglich die Form schmaler Streifen annehmen. Selbst derjenige Grad von Steifheit, der sich bei Landpflanzen fast überall findet und durch Erhaltung einer horizontalen Lage der Spreite den notwendigen Lichtgenuss sichert, fehlt hier. Ein schlaffes Herabhängen wird verhindert, sowohl durch die Wirkung der Strömung, als auch durch den Auftrieb.

Anatomischer Bau.

Die mechanische Festigung der Spreite wird in erster Linie bedingt durch die Nervatur. Diese stellt das Gerüst dar, welches die übrigen Teile zu tragen hat. Die Nervatur zeigt eine gewisse Beziehung zur geometrischen Gestalt der Spreite. Die im allgemeinen getrenntläufige Nervatur der langen, schmalen Monocotylenblätter und die netzadrige der Dicotylen mit breiteren Spreiten ist allbekannt. Besonders interessant sind Fälle, in denen bei derselben Pflanzengruppe eine Veränderung der Spreitenfläche von einer solchen der Nervatur begleitet ist. So findet sich nach Stahl (l. c. pg. 171) bei den Farnen die netzadrige Nervatur hauptsächlich bei Formen mit relativ grossen und namentlich breiten Assimilationsflächen, und bei den breiten, vom Stiel scharf abgegrenzten Spreiten von *Lilium giganteum* sind, im Gegensatz zu den übrigen *Lilium*arten die Quernerven stark ausgebildet. Parallel verlaufende Nerven sichern gegen Biegungen senkrecht zu ihrer Richtung, netzadrige bewirken eine gleichmässige, nicht mehr auf bestimmte Richtungen beschränkte Verteilung der Steifigkeit.

Ausser dem Verlauf der Nerven ist ferner wesentlich deren morphologischer und anatomischer Querschnittsbau.

Schwendener (l. c. pg. 156) unterscheidet an den Dicotylenblättern zweierlei Nerven: „1) Hauptnerven, welche biegungsfest gebaut und gewöhnlich mit starken Collenchymgurtungen und kleinen innern Bastsicheln zum Schutze des Cambiforms versehen sind; 2) kleine netzartig anastomosierende Nerven, welche vorzugsweise die Festigkeit gegen Abscheeren und gegen Zerreissen bedingen.

[1] Bei den Palmen sind die Blätter, im Gegensatz zu den Musaceen, schon beim Austritt aus der Knospenlage zerschlitzt.

Jene ragen bekanntlich oft nach aussen vor, weil dadurch ihre Tragfähigkeit erhöht wird; diese verlaufen mitten durch das Gewebe, wie die Mestomanastomosen der Gramineenblätter. Die Verwendung des Collenchyms für die Gurtungen findet ihre Erklärung in dem lange andauernden intercalaren Wachstum der Blattspreite, welches notwendig die Streckungsfähigkeit des Gerüstes voraussetzt."

„Die Verteilung der Hauptnerven auf die Blattfläche gestattet natürlich die verschiedensten Variationen." „Die mechanischen Bedingungen sind nur bei wenigen Blattspreiten, wie z. B. bei den handförmig geteilten, den schildförmigen und einigen anderen so bestimmt, dass damit zugleich das Konstruktionsschema in den Hauptzügen gegeben ist. Bei den übrigen hat die Natur einen ziemlich freien Spielraum, und es ist bekannt, dass hier die Mannigfaltigkeit der Blattskelette einen ausserordentlich hohen Grad erreicht."

Für monocotyle Blätter wurden von Schwendener folgende Trägerformen unterschieden (Haberlandt 24, pg. 158).

1. Subepidermale I-förmige Träger, welche die obere und untere Blattseite miteinander verbinden. Die Gurtungen sind beiderseits annähernd gleich stark und auch von ähnlichen Querschnittsformen. Als Füllungen fungieren entweder bloss Mestombündel oder dieselben kombinieren sich mit Parenchymzellen.

Eine höhere Stufe der Anpassung repräsentieren jene Blätter und Blattmittelrippen, welche eine auf Ober- oder Unterseite ungleiche Ausbildung des mechanischen Systems zeigen, die der Ausdruck einer verschiedenartigen Inanspruchnahme der Festigkeit ist. Bei allen bandartigen, überhängenden Blättern werden die Oberseiten hauptsächlich auf Zug, die Unterseiten auf Druck in Anspruch genommen. Auf der Zugseite sind demnach zur Herstellung gleichmässiger Spannungen breite subepidermale Bastbänder am Platze, auf der Druckseite dagegen gewöhnliche Träger.

2. System der innern Träger. Die beiderseitigen Bastbelege der Gefässbündel sind durch Assimilationsgewebe von der Epidermis getrennt.

3. Gemischte Träger. Sie bestehen aus innern Trägern und subepidermalen Bastbündeln.

Dass bei gefalteten Blättern die Kanten als die am stärksten beanspruchten Teile auch den solidesten Bau besitzen, ist leicht verständlich.

Zur Steigerung des Biegungswiderstandes dienen ferner die zahlreichen Mestomanastomosen. Aber auch das die mechanischen Träger verbindende Parenchym zeigt nach Schwendener oft ein höchst zweckmässiges auf die Erhaltung der Querschnittsform hinzielendes Verhalten, indem die Anordnung der Zellen eine solche ist, welche ungefähr den Linien grössten Druckes entspricht.

Wenn aber auch in den meisten Fällen das Parenchym aktiv sich an der Festigung nicht beteiligt, so wird es doch passiv bei Biegungen der Blätter auch in Mitleidenschaft gezogen, es ist daher einleuchtend, dass solche Anordnungen des Parenchyms, bei welchen dasselbe durch die mechanischen Blattdeformationen am wenigsten geschädigt wird, für das Blatt höchst wertvoll sein müssen. Von diesem Gesichtspunkt aus sucht Stahl (120, pg. 174) die Anordnung der Elemente des Assimilationsgewebes in sehr biegsamen Monocotylenblättern dem Verständnis näher zu bringen. Dadurch, dass die Längsachse der assimilierenden Zellen nicht senkrecht auf der Oberseite steht, sondern derselben parallel läuft und senkrecht zur Mittelrippe orientiert ist, sowie durch die zahlreichen Intercellularen werden die einzelnen Zellen weit weniger gezerrt, als bei palissadenförmiger Anordnung. Anderseits wird hiedurch auch der Biegungsfähigkeit durch das parenchymatische Gewebe am wenigsten Abbruch getan.

b. Zugfestigkeit.

Jeder Windstoss übt, falls er nicht genau senkrecht auffällt, auch einen Zug aus; die senkrecht gegen die Spreite gerichtete Komponente bedeutet den Druck, der die Biegung verursacht, die längs der Spreite verlaufende den Zug, der allerdings wegen der geringen Angriffsfläche relativ klein ausfallen muss. Am meisten sind die Blätter der Wasserpflanzen Zugkräften ausgesetzt. Hier finden wir denn auch die vollkommensten Schutzvorrichtungen in der Gestalt der langen, schmalen Spreiten, die infolge ihrer leich-

ten Beweglichkeit sich stets in die Richtung der Kraft einstellen und dadurch die wirksame Angriffsfläche auf ein Minimum reduzieren.

Die Nerven und andere mechanisch wirksame Zellkomplexe sind natürlich auch für die Zugfestigkeit von grösster Bedeutung und werden, falls diese ausschlaggebend ist, die für zugfeste Organe typische Lage einnehmen.

Das Welken, welches durch heftige Transpiration bei trockenen, starken Winden zuweilen vorkommen dürfte, beeinträchtigt die Zugfestigkeit der Blätter nicht. Nach v. Weinzierl (128) ist nämlich auch an der vegetabilischen Epidermis, gerade so wie am Baste und am Holze die absolute Festigkeit im trockenen Zustand grösser als im frischen, während es sich mit der Elastizität gerade umgekehrt verhält. Derselbe Forscher fand ferner, dass die Epidermis der Lichtseite eine grössere Zugfestigkeit, aber eine geringere Elastizität besitzt, als die Oberhaut der Schattenseite und dass die Epidermis einen Anteil an der Zugfestigkeit des ganzen Blattes hat, der nicht vernachlässigt werden darf.

c. Schubfestigkeit.

Scheerende Kräfte d. h. solche, welche die kleinsten Teilchen aufeinander zu verschieben suchen, treten schon bei jeder einfachen Biegung auf, können jedoch, infolge ihrer geringen Stärke, in diesem Fall unberücksichtigt bleiben. Anders gestalten sich die Verhältnisse bei Blättern, welche durch starke Luft- oder Wasserströmungen in heftige flatternde Bewegungen versetzt werden. Die Spreiten erleiden dann senkrecht zur Oberfläche gerichtete Zerrungen, welche bei Fehlen entsprechender Schutzeinrichtungen ein Zerreissen und Zerfetzen des Blattes herbeiführen können. Diesem Umstand ist es zuzuschreiben, dass bei Wasserblättern, die stark auf Zug in Anspruch genommen werden, die mechanischen Zellen auch an der Peripherie sich finden. (Schwendener pg. 122). Solchen Verletzungen wird ferner vorgebeugt durch die Gefässbündelanastomosen und besonders durch eine grosse mechanische Festigung des am meisten beanspruchten Blattrandes (36 und 62). Als Vorrichtungen zur Verhinderung des Einreissens sind zu nennen die dicken Aussenwandungen der Epidermiszellen des Blattrandes, die mechanische Ausbildung subepidermaler Zellen und starke Randnerven. Von besonderm Interesse ist der Blattrand der *Aloë*-Arten, bei welchen in mechanische Zellen metamorphosierte Palissaden die Festigung übernehmen (24, pg. 170).

Während bei ganzrandigen Blättern wegen der gleichförmigen Beanspruchung des gesamten Randes durch Scheerkräfte auch die mechanische Ausbildung in seiner ganzen Ausdehnung dieselbe ist, finden wir bei eingeschnittenen Spreiten die stärksten Festigungen auf die am meisten gefährdeten Einbuchtungen lokalisiert. Im weitern vergl. man Haberlandt l. c.

Als besondere Schutzeinrichtung ist auch noch die Wellung der Seitenwandungen der Epidermiszellen zu erwähnen. Findet vom Rande her ein Einreissen statt, so wird einem weitern Eindringen des Risses sowohl durch die geometrische Gestalt der gewellten Wände, als auch durch die von der Wellung herrührenden Vergrösserung der verwachsenen Flächen entgegengearbeitet. Solche Verzahnungen wirken auch einem bei Biegung der Spreite entstehenden Zug in wirksamer Weise entgegen.

d. Stossfestigkeit.

So nenne ich diejenige Festigkeit des Blattes, welche Stosskräften Widerstand leistet. Von Wichtigkeit sind hier vor allem diejenigen Stösse, welche die Spreiten durch Regen, Hagel und das gegenseitige Aneinanderschlagen der Blätter auszuhalten haben. Solchen Stosskräften sind die Blätter unterirdischer Achsen ganz entzogen, zum grössten Teil sind es auch die Blätter submerser Wasserpflanzen, sowie alle die Spreiten, die an geschützten Standorten wachsen. Eine Sicherung exponierter Blätter gegen Verletzungen durch Stosskräfte kann auf zwei ganz verschiedene Wege erzielt werden. Entweder dadurch, dass sich die Spreite durch kleine Oberfläche, günstige Stellung oder leichte Biegsamkeit diesen Kräften entzieht oder dadurch, dass sie durch Ausbildung einer widerstandsfähigen Spreite allen Angriffen zu trotzen sucht. In letzterm Falle ist ein derber Bau unerlässlich. Dünne Blätter stellen ihre Spreiten oft vertikal, es sei als Beispiel auf die Hängeblätter hingewiesen (Stahl 109, pg. 142), die zudem oft

so biegsam sind, dass man sie, nach Stahl, bei Anwendung einiger Vorsicht, ohne sie zu beschädigen, um den Finger wickeln kann.[1] Die Vertikalstellung kann hier entweder auf die Spreite beschränkt sein oder sich auch auf den Stiel ausdehnen. Die Blätter anderer Pflanzen führen Reizbewegungen aus, wodurch die Angriffsfläche der von oben kommenden Stosskräfte stark reduziert wird. Das bekannteste Beispiel ist *Mimosa pudica* (Sachs 95, pg. 800, Johow 39, pg. 129).[2] Ausser diesen Einrichtungen, welche wohl den äussersten Grad der Sicherung vorstellen, gibt es noch andere, welche, wenn auch keine so starke Verminderung wie in den genannten Fällen, so doch eine ganz bedeutende Schwächung des Stosses erzielen. Hieher gehört die Biegsamkeit der Stiele und Spreiten.

Eine denselben Zweck verfolgende Zerschlitzung der Spreiten, wie sie bei *Musa* durch den Wind verursacht wird, gibt Karsten (109, pg. 159) bei *Heliconia dasyantha* Koch und Bouché für den Regen an. Die Spreite teilt sich beim Anprall weniger grosser Regentropfen in einzelne Streifen, was nicht eintritt, solange sie durch ein Dach gegen den Tropfenfall geschützt ist, auch wenn der Wind seinen Einfluss ausüben kann. Wegen der im allgemeinen leichtern Biegsamkeit gestielter Blätter dürfen ihre Spreiten zarter gebaut sein als die sitzender. Zu den derbsten Dicotylenspreiten gehören denn auch nach Stahl (l. c. pg. 162) die grossen, genau horizontal gestellten, fast sitzenden Blattspreiten von *Coccoloba pubescens.*

Die Bedeutung der hervorgewölbten Blattfacetten wurde von Kny (49) erkannt und experimentell erwiesen.

Die Gefahr des Zerquetscht- und Zerrissenwerdens, der die Gewebe der Oberseite bei Regen und Hagel ausgesetzt sind, wird nach Kny dadurch erheblich vermindert, „dass die Epidermis- und Palissadenzellen sich als Bausteine zu flachen Gewölben zusammenfügen, welche elastischen Widerlagern, den stärkern Bündelzweigen aufgesetzt, bezw. angelehnt sind. Es wird hiedurch jeder Stoss von den zunächst betroffenen Zellen sich z. T. seitlich auf ihre Nachbarinnen und von diesen auf die Widerlager übertragen müssen, und diese werden, falls die Kraft des Stosses keine zu grosse ist, durch entsprechende Dehnung seine Wirkung unschädlich machen."

Die Versuche wurden in der Weise angestellt, dass die zu untersuchenden Spreiten zwischen zwei Holzringe, mit Kautschukeinlagen gespannt und die Höhe bestimmt wurde, von der man ein Schrotkorn von bestimmten Dimensionen und Gewicht fallen lassen musste, um eine Verletzung der Spreite herbeizuführen. Die Richtung wurde dem Schrotkorn mittels eines kurzen, vertikal gerichteten Glasrohres gegeben. Das Resultat der Untersuchungen bestätigte die ausgesprochene Behauptung vollständig. Wenn auch individuelle Schwankungen bei Blättern derselben Art vorkommen, so sind doch die untersuchten Blätter mit deutlicher Aufwärtswölbung der Spreitenfelder an der Oberseite gegen einen Stoss widerstandsfähiger als an der Unterseite.

Die Resultate Kny's wurden von Raciborski (90) in Zweifel gezogen.

Aus den Versuchen Raciborki's an Blättern mit flachen, eingesenkten und emporgewölbten Blattfacetten geht hervor, dass in der überwiegend grössern Zahl der untersuchten Fälle, die Oberseite der Blätter einen grössern Widerstand leistet, als die Unterseite.

Die Ursache der grösseren Festigkeit der Oberseite darf nun nach Raciborski nicht den zwischennervigen Emporwölbungen der Lamina allein zugeschrieben werden, da ja dieselbe Eigenschaft auch Blätter zeigen, bei denen die zwischennervigen Ausschnitte flach und sogar konkav sind. Auch sind Fälle bekannt, wo die Unterseite der Blätter eine grössere Festigkeit zeigt, als die Oberseite, wiewohl die zwischennervigen Ausschnitte der Blattoberseite gewölbt sind. *(Stanhopea).*

---

[1] Vgl. pg. 51 u. 53.

[2] Für die Biologie dieses Blattes ist die Flächenreduktion, soweit sie für Stosskräfte in Betracht kommt, übrigens von ganz untergeordneter Bedeutung, da die Spreite durch Kleinheit und Biegungsfähigkeit genügend geschützt ist.

Wenn man ferner einen blühenden Zweig von *Acer platanoides L.* kräftig schlägt, so hängen nach Taliew (112) die Blütenschäfte sogleich in der Richtung des Schlages herunter. Die Blattflächen junger Blätter richten sich mit ihrer Oberfläche nach dem Punkte des Schlages in kürzester Richtung. Die Bewegungen geschehen durch Beugung der cylindrischen Organe (Stengel und Blattstiele), Torsion der Blattstiele senkrecht zur Länge und durch Veränderung der Lage der Blattfläche. Das Senken der Blütenschäfte sowohl als die Veränderung der Lage der Blätter, soll durch das Fallen der Turgorkraft auf der gegen den Schlag gerichteten Seite bedingt sein. Die Empfindlichkeit ist so gross, dass auch kräftiger Regen das Senken der Blütenschäfte verursacht.

Dem gegenüber möchte ich bemerken, dass es ja selbstverständlich ist, dass die grössere Festigkeit der Oberseite nicht allein durch die Emporwölbung der Facetten hervorgerufen werden kann. Dies wollte Kny sicherlich auch gar nicht sagen; er wollte nur zeigen, dass — ceteris paribus — eine Emporwölbung die Festigkeit fördert, was denn auch tatsächlich der Fall ist. Den besten Beweis hiefür liefern die Versuche Kny's mit den eingestülpten Facetten, welche deutlich zeigten, dass die Stossfestigkeit bei Gleichbleiben aller übrigen Bedingungen, sofort sinkt, wenn man die Emporwölbungen einstülpt.

Wenn nun auch diese Tatsache keinem Zweifel mehr unterliegen kann, so scheint mir doch die Erklärung noch eine Modifikation zu erlauben. Nach Kny's Ansicht beruht die Schutzwirkung darauf, dass der Stoss z. T. auf die Nerven übertragen und durch deren Nachgiebigkeit unschädlich gemacht wird. Meiner Meinung nach spielt hiebei die elastische Nachgiebigkeit der Facetten selbst eine ebenso wichtige, wenn nicht die Hauptrolle. Ich möchte eine solche Facette vergleichen mit der Hälfte eines Kautschukballs, Fig. 27. Fällt ein Schrotkorn auf die konvexe Seite, so gibt die Wand nach und

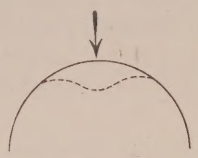


Fig. 27.

mindert so die Wucht des Stosses, es entsteht eine Vertiefung, die sich alsbald wieder ausgleicht. Trifft dagegen dasselbe Korn auf die innere, konkave Seite, so kann natürlich keine solche Einbuchtung erfolgen. Ob daneben die geringe Nachgiebigkeit der Nerven noch in Betracht kommt, scheint mir zweifelhaft. Immerhin sind kleine Unterschiede im Verhalten der Nerven sicherlich vorhanden, je nachdem der Stoss die emporgewölbte oder die eingestülpte Facette trifft, weil in dem ersten Fall das ausserhalb der Facetten liegende, mit den Nerven verwachsende Parenchym einen Druck erleidet, dem es durch seitliche Ausbiegung leichter nachgeben kann als dem Zug, den es im zweiten Falle erfährt.

Wir wollen jetzt zu den übrigen, die Stossfestigkeit fördernden Einrichtungen übergehen. Ein dichtes Haarkleid muss gegen die in Rede stehenden Verletzungen schützen, und selbst vereinzelte steife Haare werden von Nutzen sein, indem sie durch elastisches Nachgeben die Wucht des Stosses mindern.

Die Oberseite ist übrigens auch rein anatomisch betrachtet vor der Unterseite im Vorzug, indem die Reduktion der Spaltöffnungen und die fest aneinander schliessenden Palissadenzellen für die Festigkeit wichtige Faktoren sind, die allein der Oberseite zukommen.

Durch Versuche mit *Tussilago, Tradescantia, Syringa, Viburnum, Aesculus* wurde von Wiesner (133) festgestellt, dass die Stossfestigkeit des Blattes mit zunehmendem Wassergehalt abnimmt. Das vorzüglichste Schutzmittel besteht aber in der Ausbildung derber Spreiten. Ihre Widerstandsfähigkeit beruht entweder auf der Beschaffenheit und Dicke der Wände der Epidermis und des hypodermalen Gewebes oder auf der Gegenwart besonderer mechanischer Zellen (Säulenzellen etc.) und wird auch durch eine Vergrösserung der Blattdicke gesteigert. Besonders auffällig scheint mir der Zweck, stossfesten Bau zu erzeugen, da zu sein, wo das mechanische System auf der Oberseite viel stärker entwickelt ist, wie bei den Palmen (Stahl 109, pg. 173).

Dickere Blätter werden — ceteris paribus — weniger leicht durchgeschlagen und erhalten daher auch seltener Risse oder Löcher. Da es aber eine verhältnismässig nur geringe Kraft braucht, um einen Riss zu vergrössern und das Blatt zu zerfetzen, so müssen auch diejenigen Einrichtungen, welche zwar nicht einer einfachen Verletzung, wohl aber einer Durchlöcherung entgegenarbeiten, von grossem Nutzen sein. Die Verdickung der Spreiten an sonnigen Standorten ist vom mechanischen Standpunkt aus eine höchst zweckmässige Erscheinung, da in einer Stellung, die erhöhten Lichtgenuss gewährt, die Blätter meist auch mechanisch stärker in Anspruch genommen werden. Die im allgemeinen derbere Beschaffenheit der Baumblätter im Vergleich zu den Blättern krautiger Gewächse steht ebenfalls mit der stärkeren mechanischen Beanspruchung im Einklang.

Je mehr von all den bisher genannten Vorteilen einer Spreite zukommen, um so weniger wird sie von Wind und Wetter zu leiden haben. Die Coniferen verdanken die grosse Widerstandsfähigkeit ihrer Nadeln sowohl dem derben Bau als auch der kleinen Angriffsfläche. Derbheit und senkrechte Stellung sind die beiden Faktoren, welche bedingten, dass die australischen Holzgewächse im botanischen Garten zu Florenz nach einem furchtbaren Hagelwetter fast unbeschädigt blieben. (Delpino 11).[1] Vertikal stehende Spreiten wenden allerdings dem Wind eine grössere Angriffsfläche zu, sind aber dem Einfluss von Regen und Hagel weit mehr entzogen. Am meisten werden diejenigen Blätter von Stosskräften beansprucht, welche ihre Spreiten horizontal ausgebreitet haben und die aus irgend einem Grunde ihre Stellung nicht ändern können. Hieher gehören in erster Linie die Schwimmblätter, dann die grundständigen, dem Boden mehr oder weniger aufliegenden Blätter, die aber meist durch den obern Teil der Pflanze gedeckt sind, und endlich alle steifen horizontal gerichteten Spreiten. Von Schwimmblättern mit grösseren Spreiten sind vor allem die von *Victoria regia* zu nennen, welche infolge ihres derben Baues eine grosse Widerstandsfähigkeit besitzen. Höchst interessant ist der Bau der Spreite von *Euryale ferox*, da hier die Hervorwölbungen der Blattfacetten in ausserordentlich starkem Maße auftreten. Von einheimischen Schwimmblättern kommt in erser Linie *Nymphaea* in Betracht. Da für solche Blätter die Stossfestigkeit noch nicht bestimmt wurde, so führte ich mit ähnlichen Apparaten, wie sie Kny benützt hatte, einige vergleichende Versuche aus, deren Resultate im folgenden mitgetheilt sind.

Der Durchmesser des verwendeten Schrotkorns betrug 4,11 mm, sein Gewicht 0,4220 gr. Fallhöhe heisst die Höhe, von der das Schrotkorn herunterfallen musste, um eben einen Riss in der Spreite zu erzeugen. Es wurde natürlich dafür gesorgt, dass die Füllungen zwischen den Nerven und nicht etwa die letztern getroffen wurden. Mittelst eines Mikrometers mit Gefühlsschraube bestimmte ich jeweils die Spreitendicke an der getroffenen Stelle. Die folgenden Zahlen geben die Mittelwerte aus mindestens je 8 Bestimmungen.

Tabelle IX.

Name	Fallhöhe in cm	Spreitendicke in mm
Paulownia imperialis	70	0,14
Aesculus Hippocastanum	50	0,21
Betula alba	40	0,21
Acer Pseudoplatanus	50	0,23
Eucalyptus populifolia Desf.	110	0,32
Nymphaea alba	110	0,54

Die Stossfestigkeit der *Nymphaea*-Spreiten ist also tatsächlich bedeutend grösser als die einer *Paulownia*, eines *Aesculus*, *Acer* oder gar einer *Betula*. Nach Schenck (103, pg. 52) sind die grösseren Schwimmblätter sehr fest gebaut und enthalten zwischen den Palissaden stark verdickte Strebezellen, welche einer radialen Quetschung entgegenwirken. Wollenweber (138, pg. 11) gibt diesen Bau an für *Victoria regia*, *Nuphar luteum*, *Nymphaea alba* und *Limnanthemum nymphaeoides*. Auch das dickwandige Palissadenparenchym der Nymphaeaceen Potamogetonaceen, Limnanthaceen und der *Trapa* trägt wesentlich zur Festigung bei. In gleichem Sinn wirken auch die stark ausgeprägte obere Cuticula und die meist dickwandigen oberen Epidermiszellen deren Radialwände fast immer gewellt sind.

Die geringere Stossfestigkeit von *Aesculus*, *Acer* und *Betula* wird aber durch die grössere Beweglichkeit kompensiert. Die grossen *Paulownia*-Spreiten dagegen haben trotz ihrer Schiefstellung bedeutend mehr zu leiden als die der *Nymphaea*, sie waren nach einem Hagelwetter ganz durchlöchert und zerfetzt, während die *Nymphaea*-Blätter nur vereinzelte Risse zeigten.

[1] Vgl. Tabelle IX.

Dass Pufferzellen in ähnlichem Sinne wirksam sein werden, wie die hervorgewölbten Blattfacetten, ist nicht unwahrscheinlich, doch kann dann, wenn die Puffer eine sehr dicke Aussenwand besitzen, allein die mechanische Widerstandsfähigkeit der Membran Nutzen bieten. Da die Puffer sich häufig bei leicht beweglichen Blättern, wie z. B. *Populus tremula* und *Betula alba* finden, so liegt die Annahme nahe, dass es sich hier in erster Linie um eine Verhütung von Verletzungen handelt, die durch Aneinanderschlagen der einzelnen Spreiten entstehen könnten.

Es ist auch nicht ausgeschlossen, dass die Blattzähne einer mechanischen Verletzung durch Aneinanderschlagen entgegenwirken, weil die, im Vergleich zur Spreite wenig steifen Zähne bei der Berührung mit einem andern Körper sich biegen und durch diese Nachgiebigkeit die Wucht des Stosses erheblich mindern.

Im Anschluss sei auch noch speciell auf die Verletzungen durch Reibung von Blättern an Blättern oder an andern Körpern hingewiesen. Neben den gewöhnlichen Schutzmitteln, die auch gegen Stoss sichern, wie dicke Epidermis, dichte Behaarung etc., sollen nach Hunger (37) die oberflächlichen Schleimbildungen hauptsächlich als ein mechanisches Schutzmittel gegen Reibungen dienen. Hansgirg (31), pg. 45) fasst dagegen die Schleimdrüsen und Schleimhaare an Wasserblättern, im Einklang mit der allgemein herrschenden Ansicht, als Schutzmittel gegen Tierfrass auf. Dass die Reibung durch Schleimbildung vermindert wird, kann nicht bestritten werden; welche biologische Bedeutung dagegen den Schleimüberzügen tatsächlich zukommt, haben weitere Untersuchungen zu zeigen.

B. Direkte mechanische Schädigung der Blätter durch Wind, Regen und Hagel.

Dass ein Unwetter den Pflanzen schadet, ist allgemein bekannt; der Zusammenhang zwischen Wirkung und Ursache bedarf aber noch sehr der Aufklärung.

Die erste Frage, die wir ins Auge fassen wollen, ist die: Vermag der Wind allein ein gesundes Blatt vom Zweig zu trennen?

Ein Spaziergang nach heftigem Wind zeigt uns allerdings den Boden reichlich mit Blättern besät, und diese Tatsache dürfte uns vielleicht verleiten, die obige Frage ohne weiteres mit ja zu beantworten. Ob es sich in diesen Fällen aber um völlig intakte Blätter und um direkte Windwirkungen handelt, wird — wenigstens, was den letztern Punkt betrifft — nur selten mit Sicherheit zu entscheiden sein.

Wir wollen daher auf indirektem Wege versuchen, mit Hilfe unserer Messungen einige vorläufige Anhaltspunkte zu erlangen.

Halten wir uns an konkrete Fälle.

Ein Blatt von *Acer Pseudoplatanus* mit einer Spreitenfläche von 164 cm² wurde durch ein Gewicht von 827 gr abgerissen. Bläst ein Wind von 3 $\frac{m}{sec}$ Geschwindigkeit senkrecht gegen eine Fläche von 164 cm² Inhalt, so übt er auf dieselbe einen Druck aus von rund 18 gr.[1] Unter diesem Druck stellt sich die Spreite schief. Nehmen wir an, es erfolge die Verkleinerung der Angriffsfläche nach demselben Gesetze, das wir bei *Acer Pseudoplatanus* Varietät gefunden, so wird die Angriffsfläche von 164 cm² reduciert auf 103 cm². Ein Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ übt nun auf diese 103 cm² einen Druck aus von rund 129 gr (auf die 164 cm² würde derselbe Wind einen Druck von 205 gr ausüben). Die Angriffsfläche wird ver-

[1] Nach Hann (28, pg. 375) gilt für kleinere Flächen (nicht viel über 0,093 m²) genähert die empirische Formel

$$p = 0{,}125\ v^2$$

wo p den Winddruck in kg pro m² und v die Geschwindigkeit in $\frac{m}{sec}$ bedeutet.

Hier mag die interessante Tatsache Erwähnung finden, dass bei gleicher Windgeschwindigkeit der Winddruck auf kleinere Flächen grösser ist, als auf grössere, was darauf beruht, dass auf der Rückseite der Fläche in Folge der saugenden Wirkung des Windes an den Rändern ein negativer Druck erzeugt wird, der natürlich bei grösseren Flächen relativ viel kleiner ist.

Hierin liegt auch die Erklärung dafür, dass man durch Anbringung von Löchern in der Fläche den Winddruck vermehren kann und dass daher durchlöcherte Segel einen stärkeren Winddruck geben.

kleinert auf 98 cm². Angenommen, die Angriffsfläche bliebe so gross, so würde ein Sturm von 20 m/sec Windgeschwindigkeit einen Druck von 490 gr ausüben. Bedenken wir nun aber, dass die Angriffsfläche noch mehr reduziert wurde, so liegt entschieden keine Gefahr für das Blatt vor, vom Zweig losgerissen zu werden. Selbst ein Orkan von 30 m/sec vermöchte bei nicht stärker reduzierter Angriffsfläche einen Druck von nur ca. 1000 auszuüben. Bei solch enormer Windstärke ist dann allerdings eine Lostrennung möglich, in Anbetracht der weiteren Verkleinerung der Angriffsfläche aber immerhin doch noch zweifelhaft.

Bei *Populus nigra* war zum Abreissen eines Blattes von 52 cm² Spreitenfläche ein Gewicht von 230 gr nötig. Ein Wind von der Geschwindigkeit 3 m/sec übt bei senkrechtem Auffall auf die Spreite einen Druck aus von 6 gr und reduziert die Angriffsfläche auf 31 cm². Ein Wind von 10 m/sec Geschwindigkeit übt auf eine Fläche von 31 cm² einen Druck aus von 39 gr und verkleinert die Angriffsfläche auf 6 cm². Ein Orkan von 30 m/sec Windgeschwindigkeit übt auf diese Fläche einen Druck aus von rund 68 gr, vermag also das Blatt lange nicht abzureissen.

Bei *Populus balsamifera* war zum Abreissen eines Blattes von 94 cm² Spreitenfläche ein Gewicht von 150 gr notwendig. Ein Wind von der Geschwindigkeit von 3 m/sec übt bei senkrechtem Auffall auf die Spreite einen Druck aus von 11 gr und reduziert die Angriffsfläche auf 43 cm². Ein Wind von 10 m/sec Geschwindigkeit übt auf eine Fläche von 43 cm² einen Druck aus von 54 gr, ein Orkan von 30 m/sec Windgeschwindigkeit einen Druck von 484 gr. Da zum Abreissen nur 150 gr notwendig sind, so ist hier bei einem Sturme eine Lostrennung des Blattes entschieden möglich, selbst wenn auch auf eine weitere Reduktion der Angriffsfläche, zu welcher noch die Biegung der Zweige beitragen kann, gerechnet wird.

Bei *Ilex Aquifolium* war zum Abreissen eines Blattes von 13 cm² Spreitenfläche ein Gewicht von 1210 gr notwendig. Ein Wind von der Geschwindigkeit 3 m/sec übt bei senkrechtem Auffall auf die Spreite einen Druck aus von 1,5 gr, die Angriffsfläche wird hiebei nicht verändert. Ein Wind von 10 m/sec Geschwindigkeit übt auf dieselbe Fläche einen Druck aus von 16 gr und reduziert die Fläche auf 10,5 cm². Ein Orkan von 30 m/sec Windgeschwindigkeit übt auf die letztere Fläche einen Druck aus von 118 gr. Es ist somit unzweifelhaft, dass auch der stärkste Wind diesen Blättern nichts anhaben kann, selbst wenn ihre Spreite — wie das meistens nicht der Fall ist — auf der Windrichtung senkrecht steht.

Dass die Nadeln von *Picea*, welche zum Abreissen ein mittleres Gewicht von 271 gr erfordern, auch vom stärksten Wind nicht losgetrennt werden können, bedarf keiner näheren Begründung.

Aus diesen wenigen Versuchen können wir ersehen, dass ein Losreissen gesunder Blätter durch den Wind nicht unmöglich ist, aber nur bei äusserst wenig Blättern eintritt, falls wir es nicht mit einem heftigen Orkan zu tun haben.

Das Blatt von *Populus balsamifera*, das so verhältnismässig leicht vom Zweig abzutrennen ist, besitzt auch eine äusserst geringe Festigkeit und ein Blick in die Tabellen II und VI zeigt, dass die übrigen Blätter mit ähnlicher oder geringerer Festigkeit kleinere Spreiten besitzen; zudem sind sie weniger steif gebaut oder gehören Gewächsen an, auf welche der Wind überhaupt keinen starken Einfluss ausüben kann.

Wir können also getrost behaupten, dass von all den gesunden Blättern, die nach einem Sturme den Boden bedecken, nur eine äusserst geringe Zahl, meist wohl gar keine, direkt vom Winde losgerissen worden sind. Man hat hiebei auch nicht zu vergessen, dass nur ein kleiner Teil der Baumblätter von der ganzen Intensität des Windes getroffen wird, wie wir das bei unsern Berechnungen vorausgesetzt haben. Auch auf der Windseite der Krone überdecken und schützen sich die Blätter gegenseitig. Die am Boden liegenden Blätter mussten also in der weitaus überwiegenden Mehrzahl der Fälle entweder nicht mehr gesund gewesen oder aber von schwingenden Zweigen getroffen worden sein, deren wuchtigen Schlägen sie nicht zu widerstehen vermochten.

Die kritische Stelle, an der in der Natur das Abreissen erfolgt, liegt in der Regel an der Stielbasis, doch kommt es auch vor, dass die Lostrennung an der Stielspitze stattfindet. In beiden Fällen kann das Abtrennen durch die Ausbildung einer Trennungsschicht unterstützt worden sein.

Der Wind wirkt auf das Blatt mechanisch ein durch Biegen, das sich bis zu Knicken, Brechen und Abreissen steigern kann; Regen und Hagel vermögen alle diese Schädigungen ebenfalls hervorzubringen, dazu aber noch durch Stosswirkungen Löcher und Risse in die Spreite zu schlagen. Starke Regen

und Hagelschläge stellen daher nicht nur an die Biegungs-, sondern auch an die Stossfestigkeit der Blätter erhebliche Anforderungen, besonders die Hagelkörner verletzen, wegen ihrer grossen Härte, zarte Spreiten äusserst leicht und verschonen selbst derbe nicht, wenn sie, wie die Schwimmblätter, der ganzen Wucht des Stosses ausgesetzt sind.

Nach einem heftigen Unwetter, das von Hagel begleitet war, bemerkte ich, dass an vielen Blättern von *Ricinus communis* die Stiele geknickt waren. Der Wind konnte, infolge der geschützten Lage der Pflanze unmöglich der Urheber sein, und so bot sich mir denn eine günstige Gelegenheit, den Druck zu bestimmen, den der Regen bezw. Hagel auf die Blätter ausgeübt haben musste.

Zu dem Behufe spannte ich einen Zweig, der ein unverletztes Blatt trug, das in allen Punkten mit den vom Regen und Hagel geknickten möglichst übereinstimmte, in den Schraubstock, so dass die Spreitenfläche eine horizontale Lage einnahm, eine Stellung, welche die Spreiten auch in der Natur meistens zeigten. Ein Gewicht von 84 gr, am Stielende angebracht, vermochte den Stiel gerade zu knicken; die Knickung erfolgte 2 cm über der Stielbasis. Die Angriffsfläche, welche das Blatt vertikal fallenden Regentropfen bezw. Hagelkörnern bot, betrug 413 cm^2 [1].

Auch bei den vom Regen und Hagel geknickten Blättern lag die kritische Stelle 1—2 cm über der Stielbasis. Nehmen wir der Einfachheit wegen an, der Stiel sei im Schwerpunkt der Angriffsfläche der Spreite angewachsen — was ungefähr zutrifft —, so ergibt sich, bei Annahme einer gleichförmigen Druckverteilung, auf 1 cm^2 ein Druck von 0,2 gr. Den untenstehenden Angaben Wiesner's zufolge, nach denen der Maximaldruck des Regens auf 1 cm^2 höchstens 0,038 gr beträgt, muss die Knickung der Stiele dem Einflusse des Hagels oder vom Winde heftig gepeitschter Regentropfen event. der Kombination beider Faktoren zugeschrieben werden. Über die Intensität des Hagels bezw. über den durch Hagel erzeugten Druck gibt uns die Meteorologie von Hann leider keinen Aufschluss (man vergl. Hann 28). Immerhin ist aus der von Wollny (139) gegebenen Zusammenstellung zu ersehen, dass die lebendige Kraft der Hagelkörner diejenige gleich grosser Regentropfen nicht übersteigt, da die Hagelkörner aber eine bedeutendere Grösse erreichen können als die Regentropfen, so kann ihnen auch eine viel grössere lebendige Kraft zukommen.

Nach Wiesner's Untersuchungen (133 und 134) haben die grössten Wassertropfen, welche sich darstellen lassen, ein Gewicht von ca. 0,26 gr; die schwersten von ihm in Breitenzug beobachteten Regentropfen wogen dagegen nur 0,16 gr. Die Fallgeschwindigkeit beträgt wegen des beträchtlichen Luftwiderstandes höchstens 7 $\frac{m}{sec}$, die lebendige Kraft eines Regentropfens mithin höchstens 0,0004 kgm. Der grösste durch Regen herbeigeführte Druck beträgt nur 0,038 gr pro cm^2. Er ist ausserordentlich gering gegenüber dem Winddruck. Nach der auf pg. 90 angeführten Formel berechnet sich derselbe auf 1 cm^2

bei einer Windgeschwindigkeit von 3 $\frac{m}{sec}$ zu 0,1 gr
„ „ „ „ 10 $\frac{m}{sec}$ zu 1,25 gr
„ „ „ „ 30 $\frac{m}{sec}$ zu 11,25 gr

Nach Angaben von Stahl (109, pg. 149) rufen in den Tropen die oft wolkenbruchartigen Niederschläge der Regenzeit grosse Verwüstungen an. „Tausende von Blüten, altes und junges Laubwerk, ja ganze Äste liegen nach starken Regengüssen auf dem Boden umher."

Wiesner stellte durch Versuche mit Blütenblättern fest, dass dieselben, wenn sie auf Widerlagern ruhen, schon bei einem geringen Druck oder Stoss verletzt werden, ohne Widerlager hingegen (in natürlicher Weise befestigt), infolge enorm entwickelter Biegungsfähigkeit selbst bei mehrtausendfach verstärktem Stoss nicht beschädigt werden. Dasselbe Ergebnis lieferten Versuche mit Laubblättern. Die Blätter tropischer Bäume wurden im allgemeinen gegen Stoss weniger widerstandsfähig gefunden als die unserer Holzgewächse, so dass man vielleicht bei den letztern von einer Anpassung an den Hagel sprechen kann.

---

[1] Die Angriffsfläche wurde in der Art bestimmt, dass man das Blatt, ohne es zu drücken, unter eine Glasplatte legte und auf derselben die Konturen aufzeichnete. Hätte man die Spreite, deren Lappen ziemlich gefaltet waren, gepresst, so würde man wohl ihre Oberfläche, nicht aber die wirksame Angriffsfläche erhalten haben.

Blätter von *Tetracera rigida* und *Jonesia (Saraca) declineata*, welche sich durch besonders starke Brüchigkeit auszeichnen, wurden mittelst Holzleisten festgehalten und dem heftigsten Regen ausgesetzt, ohne beschädigt zu werden. Viel weniger können Verletzungen am natürlich befestigten Blatt vorkommen, da es durch elastisches Nachgeben dem Stosse ausweichen kann. Die Verletzungen dieser Blätter in der Natur werden nach Wiesner's Beobachtungen nicht durch Regen, sondern durch Wind verursacht. Wiesner bestreitet ferner gegen Stahl, G. Karsten etc., dass die Blätter der Bananen und der *Heliconia dasyantha* durch Regen zerschlitzt werden. Es wurden in natürlicher Lage befindliche Blätter von *Musa sapientum* unter Anwendung einer Brause einem künstlichen Regen $^3/_4$ Stunden lang ausgesetzt. Obschon die Stosskraft 100mal grösser war als die des stärksten tropischen Regens, wurden die Blätter doch mechanisch gar nicht geschädigt. Bezüglich *Heliconia* wurde durch Beobachtungen in der Natur und im Laboratorium gefunden, dass eine Teilung der Spreite eintrat, ohne dass hierzu Regen erforderlich gewesen wäre, und andererseits, dass während mehrmaliger Einwirkung eines starken Regens keine Zerspaltung der Blattspreite erfolgte. Wiesner glaubt, dass da, wo solche Zerspaltungen vorkommen, dies der weitaus stärkeren Kraft der bewegten Luft zuzuschreiben sei.

Die stärksten Bewegungen, welche durch die heftigsten Regen hervorgebracht werden, entsprechen einem mechanischen Effekt, welcher schon durch einen sehr schwachen Wind hervorgerufen wird. Die Blätter der *Mimosa pudica* blieben bei einem kontinuierlichen Regen von 0,002—0,020 mm per Minute gänzlich regungslos; Reizbewegung trat erst ein, wenn die Regenhöhe 0,125 mm per Minute überstieg. Der Nutzen des Zusammenklappens der Blätter liegt somit nicht darin, dass sich diese zarte Pflanze dadurch vor dem Zusammenbrechen unter der Wucht des Regenfalles schützt, denn die mechanische Wirkung des Regens wäre bei dieser Pflanze, auch wenn sie die Blattfiedern nicht schliessen würde, gleich Null.

Was den Abfall der Laubblätter betrifft, so überzeugte sich Wiesner in Wien und in Buitenzorg, dass die bei einem stärkern Regen von verschiedenen Holzgewächsen abgefallenen Blätter sich organisch (in der am Blattgrunde ausgebildeten Trennungsschicht) abgelöst haben. Die Abtrennung dieser Blätter war bereits soweit vorbereitet, dass der Regen nichts weiter zu leisten hatte, als durch einen schwachen Stoss die zum Abfall reifen Blätter vom Zweige zu lösen. Auch die Ablösung der Blumenkronen erfolgt bei der überwiegenden Mehrzahl der Pflanzen organisch in der Trennungsschicht.

Die Lagenänderungen, welche die Blätter verschiedener Pflanzen wie *Phaseolus multiflorus*, *Tradescantia zebrina*, *Begonia-* und *Selaginella*-Arten infolge lange andauernden Regens erhalten, dienen nach Wiesner zur möglichst raschen Ableitung des Regenwassers.

Mehr als ein Zittern des Laubes und der Zweige ist als direkte mechanische Wirkung selbst des stärksten Tropenregens nicht wahrnehmbar.

In Anbetracht des relativ seltenen Vorkommens starker Hagelwetter ist bei uns der Wind entschieden der Faktor, der durch Knicken, Brechen und Abreissen von Blättern am meisten schadet; geschehe nun das Lostrennen der gesunden Blätter durch direktes Abreissen, oder durch Abschlagen mittelst schwingender Zweige. Aber auch die vorzeitige Entfernung alter Blätter muss für den Baum nachteilig sein, weil hiedurch immer Reservestoffe für ihn verloren gehen; ein Verlust, der nicht unempfindlich sein wird, wenn die Zahl der losgerissenen Blätter eine grosse ist.

Weniger bedeutungsvoll als eine Abtrennung der Blätter ist eine blosse Verletzung der Spreite. Trotzdem diese Gefahr dem Blatt viel häufiger droht, sei es durch Aneinanderschlagen von Blättern oder von Blättern und Zweigen, durch die Wucht windgepeitschter Regentropfen oder durch Hagelkörner, so sind Löcher und Risse weniger von Belang, weil sie eben auf kleinere Stellen lokalisiert sind und infolge der zahlreichen Bündelanastomosen die übrige Spreite nicht beeinflussen. Nach Haberlandt (24, pg. 333) kann selbst das Durchschlagen von Hauptrippen *(Acer Pseudoplatanus)* ohne Schaden ertragen werden, indem jetzt die Stoffwanderung einfach andere Wege einschlägt, nicht aber zum Stillstand gebracht wird.

C. Zusammenhang zwischen der mechanischen Beanspruchung und den mechanischen Eigenschaften des Blattes.

Zum Schlusse mag es gestattet sein an Hand der gewonnenen Resultate eine kleine Umschau zu halten über die Gebiete, die in Bezug auf die mechanische Beanspruchung der Blätter besonders interessant sind.

An erster Stelle seien den Wassergewächsen ein Paar Worte gewidmet (man vergl. 103, 31). Das Medium, in dem sie vegetieren, unterscheidet sich so sehr von der Luft, dass es nicht auffallen kann, wenn die mechanischen Eigenschaften der Luftblätter einen andern Charakter besitzen, als die der Wasserblätter. — Scharf zu trennen sind hier die submersen Blätter von den Schwimmblättern. Die Spreiten des submersen Laubes besitzen meist die Form langer, schmaler Streifen, im Gegensatz zu den grossen Blattflächen mancher Schwimmpflanzen *(Victoria, Nymphaea)*. Die Erklärung dieser faden- oder bandartigen Blattform liegt in den mannigfachen Bewegungen, die sich in fliessendem Wasser geltend machen, aber auch in stehendem nicht ganz fehlen. Die Gewalt des Wassers ist unter sonst gleichen Umständen natürlich eine viel grössere als die der weit weniger dichten Luft, und müsste daher grosse, zarte Spreiten alsbad zerschlitzen und zerfetzen. Infolge der fadenförmigen Ausbildung und der leichten Beweglichkeit bieten die Spreiten dem Wasser eine nur geringe Angriffsfläche dar und sind daher der Gefahr einer mechanischen Verletzung weit weniger ausgesetzt. Feste, steife Spreiten, welche ebenfalls eine mechanisch günstige Konstruktion bedeuten, finden wir bei den submersen Blättern nicht. Der Grund liegt darin, dass derbe Spreiten auf andere, äusserst wichtige Funktionen nachteilig wirken. So würde hiedurch bei gleichem Materialverbrauch die mit dem Wasser in Kontakt befindliche Oberfläche und damit der Gasaustausch und die übrige Stoffaufnahme bedeutend reduziert. Sowohl hierauf als auf die Durchgängigkeit der Lichtstrahlen wirken ferner dicke Zellmembranen nachteilig ein.

Der Einfluss des Wassers auf die Ausbildung der Blätter ist besonders auffällig bei dem Vergleich von Land- und Wasserformen derselben Species oder doch nahe verwandter Arten oder Gattungen.

Abweichend von dem gewöhnlichen Bau submerser Pflanzen finden wir bei verschiedenen *Potamogeton*-Arten *(lucens, perfoliatus, nitens, crispus* etc.) breite Blätter. Hier sorgt eine breite oft stengelumfassende Blattbasis für eine feste Verwachsung, während die starken Rippen und etwas krausen Spreiten gegen Zerschlitzen und Zerfetzen schützen dürften.

Die Schwimmblätter weichen schon in ihrer ovalen, nieren- oder schildförmigen äussern Gestalt von den submersen Blättern äusserst stark ab. Hier herrscht das Bestreben, die Spreitenflächen möglichst gross auszubilden, weil bei langen, fadenförmigen Blättern ein ruhiges Schwimmen nicht möglich wäre. Die Spreiten zeigen aber auch infolge ihrer stark exponierten Lage einen andern anatomischen Bau. Sie sind lederartig und derb, im Gegensatz zu denen submerser Pflanzen, da sie unter Regen und Hagel zu leiden haben, während die letztern hiegegen völlig gesichert sind. Damit ein Schwimmen möglich ist, muss das spezifische Gewicht der Blätter kleiner sein als das des Wassers und, ceteris paribus, um so mehr differieren, je grösser die nach unten ziehende Kraft ist. Ein weiteres höchst einfaches Mittel, den Auftrieb zu verstärken, besteht in der Emporwölbung des Blattrandes, die wir so deutlich bei den riesigen *Victoria*-Spreiten sehen. Dieselbe Konstruktion, welche der Mensch anwendet, um einen Kahn über Wasser zu halten, finden wir hier bei der Pflanze wieder. Auch die Insertion des Stiels im Schwerpunkt der Spreite erschwert das Herabsinken derselben unter die Wasseroberfläche, weil der Hebelarm des Drehungsmomentes, welches durch den Auftrieb und den nach unten wirkenden Zug gebildet ist, auf Null reduziert wird. J a h n (38) machte ferner zuerst darauf aufmerksam, dass die Vergrösserung des Ansatzwinkels des Stiels in zweckmässiger Weise eine Verkleinerung der senkrecht nach unten wirkenden Komponente erzielt, indem die in Richtung des Stiels wirkende Zugkraft mehr und mehr in einen horizontalen, unschädlichen Schub übergeht.

Interessant sind die Pflanzen, welche submerse Schwimm- und Luftblätter ausbilden können, wie

das bei *Sagittaria sagittifolia* der Fall ist, indem alle drei Formen eine den betreffenden Verhältnissen entsprechende, höchst zweckmässige Gestalt zeigen.

Bei den Landpflanzen zeigt uns schon die äussere Gestalt des Blattes an, ob dasselbe einem windigen oder windstillen Standort angepasst ist. Die mächtigen Spreiten, die sich im geschützten und feuchten tropischen Urwald ausbilden können, wären an einem exponierten Standort der Vernichtung rettungslos preisgegeben.

An feuchten, windstillen Standorten sind in den von heftigen Regengüssen heimgesuchten Tropengegenden Einrichtungen zu finden, welche als Schutz gegen die indirekten, seltener gegen die direkten Wirkungen des Regens gedeutet werden müssen. Hieher gehören die Hängelage der Blätter, welche nach der von Stahl vertretenen Ansicht auch als Schutz gegen die mechanischen Wirkungen des Regens aufzufassen ist. Ebenso soll die in denselben Gegenden häufig ausgebildete Träufelspitze unter anderen auch in der Weise mechanisch von Vorteil sein, dass sie durch Begünstigung des Abfliessens des Regenwassers das Blatt schneller entlastet als bei Fehlen der Träufelspitze.

Während die Vertikalstellung vor Regen und Hagel schützt, gewährt sie dem Wind eine grössere Angriffsfläche und ist also in dieser Beziehung von Nachteil. Die grossen vertikalen Blattspreiten sind nun aber geographisch so verteilt, dass sie an den windreichen Standorten überhaupt fehlen und auch sonst als Kletterpflanzen und Epiphyten häufig einer festen Stütze so anliegen, dass starke Biegungen ausgeschlossen sind.

Grosse, relativ zarte Spreiten, die häufigen Platzregen ausgesetzt und dennoch horizontal sind, suchen durch eine weitgehende Teilung die Biegungsfähigkeit so viel als möglich zu steigern. Als Beispiel sei das von Stahl (l. c.) angeführte Blatt von *Philodendron pinnatifidum* erwähnt.

Einen vorzüglichen Schutz bietet ferner die Ausbildung derber Spreiten. Stahl (l. c. pg. 157) sucht die lederige Beschaffenheit der Blätter fast sämtlicher grossblättriger Tropenbäume als Anpassung an die häufigen Regen hinzustellen, ein Gesichtspunkt, der allerdings „andere nicht auszuschliessen braucht." Auch Haberlandt ist der Ansicht, dass die dickwandige Epidermis vieler Blätter der Tropen eine Anpassung an die mechanische Inanspruchnahme sei, indem für den Transpirationsschutz in dem feuchten Tropenklima viel dünnere Aussenwände genügen würden. Wiesner vermutet einen Zusammenhang zwischen der, im Vergleich zu denen der Tropen, grösseren Stossfestigkeit der Blätter unserer Holzgewächse und dem häufigeren Auftreten des Hagels.

Es ist höchst interessant, dass Blätter derselben Pflanze je nach ihrer Exposition verschieden ausgebildet sind. Die dem Substrat dicht anliegenden Mantelblätter von *Platycerium alcicorne* (109, pg. 164) sind ungestielt und ungegliedert, die vom Substrat abstehenden Laubblätter, die durch ihre Lage vor dem Regen nicht geschützt sind, besitzen eine stielförmig verschmälerte Basis und eine Spreite, die in biegsame Gabeläste aufgelöst ist. In ähnlicher Weise geht auch bei der kletternden *Photos aurea* Verlängerung des Stiels und Spreitenteilung mit stärkerer mechanischer Beanspruchung der Blätter Hand in Hand. Bei *Photos Beccarianus* sind die exponierteren Blätter schwächer und länger, was natürlich nur ein anderes Mittel zur Erreichung desselben Zweckes ist. Auch die häufig zu beobachtende Verschiedenheit zwischen Grund und Stengelblättern bietet vom mechanischen Standpunkt aus viel Interessantes. Stahl (l. c., pg. 168) stellt 3 Typen für diese Unterschiede auf: 1. Verschmälerung der Stengelblätter gegenüber den Grundblättern, 2. weiter durchgeführte Teilung der Spreite bei den Stengelblättern, 3. mehr oder weniger von der Horizontalen abweichende, gewöhnlich aufgerichtete Stellung der Stengelblätter.

Was nun speziell den Wind betrifft, so finden wir überall in der Flora stark exponierter Standorte — auf Dünen und Savannen sowohl, wie im windigen Hochgebirge — einen Habitus wieder, den wir von diesem Gesichtspunkt aus als äusserst zweckmässig bezeichnen müssen, womit absolut nicht gesagt sein soll, dass mechanische Wirkung und Habitus in der Beziehung zueinander stehen wie Ursache und Wirkung.

Der üppige Baumwuchs windgeschützter Gebiete und das Fehlen oder die abnorme Gestalt der Bäume windreicher Gegenden sind Gegensätze, die auffallen müssen. Dass die Verbiegung, einseitige Verzweigung, sowie das Sicheinstellen der Zweige in die Windrichtung eine direkt mechanische Wirkung

ist, kann nicht bezweifelt werden.[1] Nach Hansen (29, pg. 45) bedingt der Wind, der die Ursache der dichten Beschaffenheit der Dünenoberfläche ist, durch diesen Vertikaldruck auch, dass Sträucher mit biegsamen Zweigen wie *Salix repens*, *Lotus* u. a, sowie kleinere Pflanzen wie *Jasione montana*, *Hieracium umbellatum*, *Salsola Kali*, *Glaux*, *Galium* etc. sich dem Boden anschmiegen. In diesen Fällen wäre die mechanische Wirkung des Windes also direkt die Ursache des niedrigen Wuchses. Es ist nicht zu bestreiten, dass ein heftiger Sturm ganz gesunde Zweige und Blätter abtrennen, selbst ganze Bäume umwerfen oder brechen kann. Ebenso sicher ist es aber auch, dass solche Stürme, die ja nicht immerfort dauern, sondern nur von Zeit zu Zeit auftreten, als ein nur selten einwirkendes Moment, unmöglich den äusserst charakteristischen Florentypus weiter Gebiete bedingen können. Die mittlere Windstärke ist aber nicht so gross, dass sie allein durch Zug- und Druckkräfte, durch gegenseitiges Schlagen und Reiben der Blätter etc. die Vernichtung von Baumwuchs herbeiführen könnte. Die genannten Kräfte vermögen wohl die normale Gestalt des Wuchses in eine abnorme überzuführen, doch ist diese Wirkung für den Baum unschädlich und hat mit dem Fehlen der Baumvegetation nichts zu tun. Dass Gestalt und Bau der Blätter und Zweige, sowie der ganze Pflanzenhabitus auch vom Gesichtspunkt der mechanischen Wirkung aus höchst zweckmässig ist, fordert nicht, dass sie direkte Ursache der beobachteten Wirkung sei, wie das von Borggreve angenommen wird.

Einrichtungen, die äusserst zweckmässig sind, um sowohl gewöhnlichen Wind als auch heftige Stürme schadlos auszuhalten, finden sich vor allem in der niedern Wuchsart, der Kleinheit und Derbheit der Spreiten. Die typischen Windformen von *Prunus spinosa* und *Crataegus oxyacantha* führen eine bedeutende Reduktion der Angriffsfläche mit sich. Die Krone ist zu vergleichen mit einem Kegel, der seine Spitze dem Wind entgegenkehrt und die Achse in die Windrichtung eingestellt hat. Der Mantel dieser kegelförmigen Zone bildet eine Hülle, die den übrigen Teil vor zu starker Transpiration und natürlich auch vor mechanischen Verletzungen schützt. Ebenso weisen die Schirmbäume der Savannen (104, pg. 372) eine günstige Gestalt auf, indem sie die Ebene, in welcher das Blätterdach liegt, so orientieren, dass der Wind sie von der Seite trifft. Sehr zweckmässig ist auch die kopfige Anordnung der Blätter bei Palmen und andern monocotylen und dicotylen Holzpflanzen. Durch diese rosettenartige Gruppierung überdecken und schützen sich die Blätter natürlich gegenseitig. Die dem Wind zunächst stehenden werden von seiner ganzen Wucht getroffen, die hintern sind durch die Leiber der vordern ganz oder doch teilweise geschützt. Durch diese Anordnung wird aber auch das Hin- und Herschaukeln der Blätter zum mindesten stark eingeschränkt und damit grossen Biegungen entgegengewirkt. Zugwirkungen des Windes sind durch die eben genannten Anordnungen meist auch ausgeschlossen und würden übrigens wegen der, wenigstens bei den Monocotylen, stark verbreiterten Blattbasis nicht einmal schaden. Aber auch den schädigenden Einflüssen von Regen und Hagel sind solche Pflanzen weniger preisgegeben, wie ich nach einem mit heftigen Regen und Hagel verbundenem Sturme (7. Okt. 1901) im botanischen Garten zu Basel leicht konstatieren konnte. Damals fiel mir auch der Unterschied auf in der Beschädigung einer Platanen- und einer gleich exponierten *Aesculus*allee. Die Platanen hatten sehr stark gelitten, die Rosskastanien beinahe gar nicht. Falls die Platanenblätter eine ähnliche Abreissfestigkeit besitzen wie diejenigen von *Acer Pseudoplatanus*, so dürfte vor allem die leichte Beweglichkeit der Teilblätter die Immunität der *Aesculus*spreiten bedingt haben.

Nach Jungner (41) sind die „alpinen Windblätter (Blätter mit meist handlappigen Spreiten an den offenen und dem Wind ausgesetzten Hügelabhängen der Regio alpina, Gebiet zwischen der Waldgrenze für *Betula odorata* und ewigem Schnee) mit aller Wahrscheinlichkeit durch die Einwirkung des Windes entstanden und die Blätter der Gräser z. B. die langen Blätter bei den *Stipa*-Arten sollen von den auf den Steppen und Grasebenen oft ununterbrochenen und starken Winden in die Länge gezogen worden sein. Die *Acer*-Arten in Japan, einem der windreichsten Gebiete der Erde, haben längere Lappen als die übrigen Vertreter dieser Species und auch unter den übrigen Gewächsen dieses Gebietes sind Arten mit lappigen Blättern viel häufiger als in Berg- und Küstengegenden von Deutschland und Schweden. Auch der Regen, der in Japan sehr reichlich und oft während heftigen Windes fällt, dürfte

[1] Man vergl. die Photographieen bei Schimper (104, pg. 86).

in gleichem Sinne gewirkt haben. In den Küstengegenden des südwestlichen Spanien fand Jungner auf grossen Strecken, dass die höhern Schichten der Vegetation, welche am meisten dem Winde und auch dem Regen augesetzt waren, beinahe ausschliesslich aus Pflanzen mit lappigen oder geteilten Blättern bestanden. Nach Eckstam sind auf Novaja Semlja alpine Windblätter auf entsprechenden Abhängen sehr gewöhnlich.

Es wurden auch verschiedene Windblatttypen aufgestellt (Kerner 44, I, pg. 410, Hansgirg 31, pg. 60), welche sämtlich, jeder auf seine Art, gegen die schädlichen Wirkungen des Windes in hohem Grade gesichert sind.

1. Der *Populus*-Typus besitzt lange, elastische Blattstiele. Das beste Beispiel liefert *Populus tremula.*
2. Der *Narcissus*-Typus, hieher gehören die Schraubenblätter, welche 2, 3, 4 bis 6mal um ihre Längsachse gedrillt sind, z. B. *Typha angustifolia.* Die Steifigkeit wird durch die Torsion bedeutend gesteigert.
3. Der *Allium*-Typus, zu ihm werden die Röhrenblätter gezählt, welche die Form eines nach oben sich zuspitzenden Rohres haben und durch die periphere Anordnung der Blattsubstanz, bei geringer Festigkeit der konstituierenden Elemente eine grosse Steifigkeit erhalten. Als Beispiele seien erwähnt *Allium sibiricum, Schoenoprasum, Cepa.* Hieher gehören auch die der Länge nach röhrenförmig zusammengerollten Spreiten von Crocus-Arten. Typus 2 und 3 umfassen aufrechte Laubblätter, die durch ihre Stellung der Knickung des in horizontaler Richtung daherflutenden Windes stark ausgesetzt sind.
4. Der *Phragmites*-Typus, bei dem die ziemlich steifen Blattflächen wie Windfahnen um den Stengel drehbar sind. Die Spreiten drehen sich, ohne sich selbst zu verbiegen, nach jener Richtung, gegen welche der Wind weht und stellen sich somit in den Windschatten ein. Dies wird dadurch ermöglicht, dass sowohl der Halm als die ihn umschliessende röhrenförmige Scheide an der Reibungsfläche sehr glatt ist und dass die Blattscheide eine geringe Zerrung ohne Nachteil erträgt. Hieher gehören z. B. *Phalaris arundinacea, Phragmites communis.*
5. Der *Calamagrostis*-Typus umfasst die Bogenblätter, welche sich bei vielen Gräsern und den Grasbäumen finden. Die langen, schmalen Spreiten bilden einen nach oben konvexen Bogen und sind durch leichte Biegsamkeit und grosse Zugfestigkeit vor Schädigungen durch Wind geschützt.
6. Der *Seseli*-Typus besitzt an Myriophyllum erinnernde, mehrfach gefiederte Blätter mit linealen Zipfeln, die elastisch sind und unabhängig voneinander sich biegen können. Hieher gehören viele Umbelliferen, Fumariaceen, Taccaceen, ferner einige Ranunculaceen.
7. Der *Fraxinus*-Typus. Diese Blätter sind lang gestielt, ein- bis mehrfach gefiedert oder gefingert. Hieher rechnet man Pteridophyten, Palmen, Juglandaceen, Aesculineen, Leguminosen etc.

Die Zahl der Windblatttypen wurde übrigens neuerdings noch vermehrt.

Infolge der Stärke und Häufigkeit mechanischer Beeinflussungen, die an vielen Orten dauernd vorhanden sind, kommt sicher dem mechanischen Moment oft eine direkt formbestimmende Tätigkeit zu. In erster Linie darf man dies behaupten für die submerse Vegetation fliessender Gewässer. Hier ist die Einwirkung dauernd das ganze Leben hindurch vorhanden. An stark exponierten, windigen Standorten ist der Einfluss des Windes ebenfalls konstant, doch dürfte nach den neuesten Anschauungen (Hansen, Reiche etc.) der typische Charakter dieser Flora weniger der mechanischen Einwirkung als der gesteigerten Transpiration zuzuschreiben sein. Sind die Beeinflussungen dagegen weniger heftig, und was die Hauptsache ist, weniger konstant, so wird man die Zweckmässigkeit des Blattbaues am besten auf die Auslese geeigneter Formen zurückführen.

Dass neben dem mechanischen Moment auch noch andere Faktoren die Blattgestalt in gleichem Sinne beeinflussen können, ist nicht zu bestreiten, es ist aber ebenso klar, dass da, wo die mechanische Beanspruchung eine äusserst starke ist, ihr auch die hauptsächlichste Rolle in der sichtenden Tätigkeit der äussern Faktoren zugeschrieben werden muss.

II. Thermische Eigenschaften.

Von den verschiedenen physikalischen Faktoren, welche für die Pflanze von hervorragender Bedeutung sind, ist die Wärme neben dem Licht der wichtigste. Sie beeinflusst die chemischen Prozesse, die sich im Innern des Pflanzenkörpers abspielen, sie wirkt auch ein auf die Stoffwanderungen und ist daher für Leben und Wachstum von grösster Wichtigkeit. Die Bedeutung der Wärme für die Pflanzengeographie geht deutlich hervor aus dem folgenden Ausspruche Schimpers (104, pg. 174). „Die Gliederung der Pflanzendecke der Erde ist von 3 Faktoren beherrscht: Wärme, Hydrometeore (mit Einschluss des Windes) und Boden. Die Wärme liefert die Flora, die klimatische Feuchtigkeit die Vegetation, der Boden sortiert und nuanciert in der Regel nur das von den beiden klimatischen Faktoren gelieferte Material und fügt einige Details aus eigenem hinzu."

Von diesem Gesichtspunkt aus muss das Studium der thermischen Eigenschaften des Blattes — in welchem sich ja in erster Linie die wichtigsten chemischen Prozesse abspielen — von hervorragendem Interesse sein.

A. Verhalten der Blätter gegen strahlende Wärme.

1. Reflexion.

Es gibt bekanntlich zwei Arten von Reflexion, regelmässige und diffuse. Für den Botaniker kommt vor allem das Studium der letzteren in Betracht. Diffuse Reflexion zeigen alle Blätter; bei glatter Oberfläche wird ein Teil der auffallenden Strahlen auch regelmässig reflektiert.

Genaue Untersuchungen über die Gesetze der diffusen Reflexion wurden von Angström (2) ausgeführt. Die früher von andern Physikern angestellten Versuche führten zu keinen befriedigenden Resultaten, weil als Messapparat eine Thermosäule verwendet wurde, die wegen der schwachen Intensität der diffusen Wärme eine genaue Bestimmung der Strahlenrichtung nicht gestattete. Durch die Verwendung des weit empfindlicheren Bolometers war es Angström möglich, genaue Messungen vorzunehmen. Während die Spiegelung — mit Ausnahme der metallischen Flächen — um so stärker ist, je schiefer die Strahlen einfallen, wird die diffuse Reflexion am stärksten bei senkrechtem Einfallen der Strahlen. Die diffus reflektierte Wärme ist ferner in den verschiedenen Richtungen keiner verschieden auswählenden Absorption unterworfen; tritt dagegen regelmässige Reflexion ein, so scheint der reflektierte Strahl reicher zu sein an den Wärmearten, welche die Oberfläche selbst hauptsächlich absorbiert als an den übrigen diffundierten Strahlen, doch ist dies noch nicht mit Bestimmtheit erwiesen. Die ersten auf die Reflexion sich beziehenden Versuche mit Laubblättern wurden im Jahre 1880 von M. Maquenne (67) ausgführt und sind bis jetzt auch die einzigen geblieben. Maquenne arbeitete mit einer Thermosäule und benützte als Grundlage sowohl seiner experimentellen Untersuchungen als auch der theoretischen Betrachtungen die Arbeiten von de la Provostaye und Desains (89). Einzelheiten der Versuchsanstellung und Berechnung sind im Original nachzusehen. In einer Reihe von Vorversuchen wird gezeigt, dass die in Richtung der Normalen diffundierte Wärmemenge unabhängig ist von dem Einfalls-

winkel, solange derselbe zwischen 35 und 45° sich bewegt. Maquenne (l. c. pg. 342) behauptet zwar, dass die genannte Unabhängigkeit gelte, solange der Einfallswinkel nicht grösser sei als 45°. Er weist diese Unabhängigkeit aber nur nach für Winkel zwischen 35 und 45° und nach den Versuchsergebnissen Angströms ist es unstatthaft, die gefundenen Beziehungen auch auf Winkel von 0 bis 35° zu übertragen. Es soll ferner die Untersuchung eines lebenden und eines toten, ausgetrockneten Blattes zu demselben Resultate führen. Aus den angeführten Versuchen lässt sich dies aber entschieden nicht ersehen, ob noch andere Versuche ausgführt wurden, ist nicht angegeben. Weiter wurde gefunden, dass die diffuse Reflexion mit der Natur des Blattes sich ändert; für ein mattes Blatt und besonders für die Unterseite der meisten untersuchten Blätter gehorcht sie ganz oder doch beinahe vollständig dem Cosinusgesetz. Auf glänzenden und glatten Oberflächen dagegen werden die einfallenden Wärmestrahlen zum Teil nach dem Spiegelgesetz reflektiert. Als weiterer Beweis dafür, dass das Blatt zugleich diffus und regelmässig reflektiert, dient die Tatsache, dass die nach dem Gesetz der regelmässigen Reflexion zurückgeworfenen Strahlen immer in der Einfallsebene polarisiert sind; die Stärke der Polarisation nimmt mit dem Einfallswinkel zu bis 55°, wo die Polarisation beinahe vollständig ist. Maquenne glaubt, dass dieser Winkel mit der Natur des Blattes sich nicht ändere, da er ihn gleich fand für Stechpalme, Laurier und *Evonymus japonicus*, fügt aber hinzu, dass nur wenige Blätter glatt genug sein werden, um das Licht so vollständig zu polarisieren. Im Anschluss sei bemerkt, dass nach Wartmann (127) die von den Wolken reflektierte Wärme des Sonnenlichtes dieselbe Polarisation zeigt, wie die der leuchtenden Strahlen. Die Verschiedenheiten zwischen den einzelnen Blättern desselben Individuums können ebenso gross sein, als die zwischen Vertretern verschiedener Species.

Die diffus reflektierten Strahlen betragen bei senkrechtem Einfall im Mittel 25% für die Bourbouze-Lampe und nehmen ab bei Abnahme der Intensität der Wärme.

Die beiden Seiten desselben Blattes verhalten sich verschieden, gewöhnlich ist die diffuse Reflexion auf der Unterseite stärker, doch kommt auch das Gegenteil vor. Mit Abnahme der Temperatur der Wärmequelle gleichen sich die Verschiedenheiten zwischen Ober- und Unterseite mehr und mehr aus.

Die Physiker Melloni (71) und Knoblauch (47) haben gefunden, dass die diffus reflektierten Wärmestrahlen auch qualitativ von den einfallenden differieren und dass die Farbe der reflektierten Wärmestrahlen abhängig ist von der Natur der reflektierenden Substanz. Mit Blättern wurden diesbezügliche Versuche noch nicht angestellt.

2. Emission.

Das verschiedene Emissionsvermögen der Körper bestimmte zuerst in exakter Weise Leslie (58). Die 4 Seiten des nach ihm benannten Leslie'schen Würfels wurden mit den zu untersuchenden Substanzen überzogen und das Emissionsvermögen durch die Temperaturerhöhung gemessen, welche ein Differentiallufttthermometer durch die Ausstrahlung erfuhr. Diese Versuche wurden von Melloni wiederholt unter Benützung einer Thermosäule.

Nach der Methode von Melloni führte nun Maquenne Versuche mit Blättern aus.

Die von Maquenne gefundenen Werte sind aber wahrscheinlich häufig zu klein, denn einmal können die Blätter nicht mit der ganzen Fläche mit dem Würfel in Berührung gebracht werden, besonders wenn die Nerven stark hervortreten; dann hängt ferner die Temperatur der emittierenden Blattfläche wesentlich von der Dicke des zu untersuchenden Blattes ab, da die Substanz des Blattes ein schlechter Wärmeleiter ist und wird um so weniger mit der Temperatur des Würfels übereinstimmen, je mächtiger sie ist. Berücksichtigt man diese Fehlerquellen, so kann man sagen, dass die Emissionsvermögen der verschiedenen Blätter nur wenig voneinander abweichen und dem Emissionsvermögen des Russes sehr nahe kommen. Auch hier waren die Abweichungen zwischen 2 Blättern desselben Individuums ebenso gross wie die zwischen 2 Blättern verschiedener Species.

Die nächtliche Abkühlung der Blätter muss also ebenso stark sein, als diejenige des Lampenrusses. Dies vermutete schon Melloni, der gefunden hatte, dass 2 Thermometer, deren Kugeln mit einem grünen Blatt umwickelt bezw. berusst waren, sich gleichstark und gleichschnell abkühlten. In neuerer Zeit wurden ähnliche Versuche von Mayer angestellt (69). Die Versuchsordnung war die gewöhnliche. Mayer gelangte zu dem Resultat, dass die Emission der Ober- und Unterseite gleichgross ist und ebenso stark wie die von Lampenruss. Ein berusstes Blatt strahlt nämlich genau ebenso stark aus wie ein unberusstes. Eine einzige Ausnahme wurde entdeckt: die Ausstrahlung der Oberseite von *Arctium Lappa* beträgt gleichviel wie bei den übrigen Blättern, die der Unterseite dagegen nur 81% dieses Betrages. Maquenne zeigte dann ferner, dass das Emissionsvermögen der Blätter konstant bleibt bis zu sehr starken Neigungswinkeln, besonders wenn die Oberfläche regelmässig matt ist, wie z. B. beim Flieder; bei glänzender Oberfläche sind die Unterschiede etwas grösser. Da das Emissionsvermögen von dem Neigungswinkel fast unabhängig ist, so muss die Oberfläche eines bebauten Bodens während der Nacht dieselbe Wärmemenge emittieren, wie wenn er mit einem einzigen ungeheuren, ebenen und horizontalen Blatt bedeckt wäre.

Für die Emission muss auch eine allfällig vorhandene Wachsschicht Bedeutung haben, denn aus der menschlichen Physiologie ist bekannt, dass die überfirnisste Haut die Wärme leichter ausstrahlt, als die gewöhnliche Haut und Melloni (72) hatte mit dem Leslie'schen Würfel gefunden, dass durch das Auftragen von Firnissschichten die Ausstrahlung gesteigert wurde bis zu einer gewissen Dicke der Schicht und von da ab konstant blieb.

3. Absorption.

Während bei einem athermanen Körper die nicht reflektierten Wärmestrahlen vollständig absorbiert werden, lässt ein diathermaner Körper die in ihn eindringenden Strahlen ganz oder teilweise hindurchgehen, absorbiert also entweder gar nicht oder doch nur teilweise. Die Summe der reflektierten absorbierten und durchgegangenen Wärme muss gleich der auffallenden sein.

Nach einer ziemlich umständlichen Methode, die hier nicht näher beschrieben werden kann, bestimmte nun Maquenne das Absorptionsvermögen der Blätter. Er fand, dass dasselbe zwischen weiten Grenzen schwankt (0,23 und 0,72). Es steht dies im Gegensatz zu dem Reflexions- und besonders dem Emissionsvermögen, deren Werte bei verschiedenen Blättern nicht stark abweichen. Die Blätter mit dünnen Spreiten absorbieren weniger als die mit dicken. Da die immergrünen Blätter in der Regel dicker sind als die sommergrünen, die ausgewachsenen dicker als die jungen, so müssen auch die immergrünen Blätter stärker absorbieren als die sommergrünen, die ausgewachsenen stärker als die jungen. Die Oberseite absorbiert ferner in den meisten Fällen stärker als die Unterseite. Dies ist sehr bezeichnend, denn das Blatt wird infolgedessen in seiner natürlichen Lage am stärksten erwärmt, es müssen sich daher die wichtigen Lebensvorgänge lebhafter abspielen, als bei irgend einer andern Stellung des Blattes, solange die Temperatur das Optimum nicht überschritten hat. Bei dieser ersten Versuchsreihe verwendete Maquenne als Wärmequelle eine Bourbouze-Lampe. Die Umständlichkeit der Methode und die Vernachlässigungen, die da und dort gemacht wurden, scheinen mir dafür zu sprechen, dass wohl den Resultaten im grossen und ganzen Vertrauen entgegenzubringen ist, dass aber kleinere Differenzen keinen Anspruch auf absolute Zuverlässigkeit machen dürfen und daher an dieser Stelle auch nicht zu erwähnen sind. Bei einer zweiten Versuchsreihe diente als Wärmequelle ein Leslie'scher Würfel. Während die Blätter ca. 50—70% der von einer Bourbouze-Lampe herkommenden Strahlen absorbieren, so steigt die Absorption bei Anwendung des Leslie'schen Würfels bis auf 99%; andererseits nehmen die Unterschiede in dem Verhalten verschiedener Blätter mehr und mehr ab. Je schwächer die Wärmequelle wird, um so stärker wächst die Absorptionsfähigkeit der Blätter und nähert sich mehr und mehr derjenigen des Russes. Dies stimmt mit den Versuchsergebnissen Mellonis überein, der schon früher gefunden hatte, dass die Körper um so mehr Wärmestrahlen absorbieren, je weniger brechbar dieselben sind.

Die bedeutende Absorption der minder brechbaren Wärmestrahlen[1] durch die Laubblätter führt nun aber zur weiteren Aufgabe, zu untersuchen, welchem Teil der Spreite diese Absorption hauptsächlich zuzuschreiben ist. Maquenne stellte sich eine Chlorophylllösung her, zerlegte die durchtretenden, von einer Bourbouze-Lampe kommenden Strahlen mit einem Prisma und mass die Intensität der Strahlen verschiedener Wellenlänge mit einer linearen Thermosäule. Neben der Absorption der Lösung wurde auch diejenige des Lösungsmittels bestimmt und so die Möglichkeit gegeben, die Absorption des Farbstoffs zu berechnen. Es ergab sich, dass das Absorptionsvermögen des Chlorophylls sowohl im Rot als auch am violetten Ende des Spektrums eine maximale Höhe erreicht; Absorptionsbänder, analog denen für das Licht, konnten auf diese Weise für die Wärmestrahlen nicht ermittelt werden. Nach Berechnungen verhält sich nun das Absorptionsvermögen des Chlorophylls zu dem des Wassers ungefähr wie 9 : 10, kommt demselben also sehr nahe. Da nun aber in den Versuchen Maquennes das Chlorophyllgewicht nur $^1/_{90}$ des Wassergewichtes eines Blattes betrug, so muss die Absorption der Wärme durch die Blätter zum weitaus grössten Teile auf dem Wassergehalt derselben beruhen. Für Lichtstrahlen liegen die Verhältnisse umgekehrt.

4. Diathermansie.

Die Tatsache, dass Wärmestrahlen durch Körper hindurchdringen können, ist schon lange bekannt. Melloni (74), der die ersten genauen Untersuchungen über diesen Gegenstand anstellte, zeigte, dass die Wärme gewisse diathermane Substanzen in unmessbarer Zeit durchstrahlt und dass durch denselben Körper eine um so grössere Wärmemenge hindurchgeht, je glatter seine Oberfläche ist. Der Verlust, welchen die Wärme bei der Durchstrahlung einer Substanz erleidet, ist ferner in dem Maße geringer, als sie bereits grössere Schichten dieser Substanz durchdrungen hat. Die strahlende Wärme geht in ungleichem Verhältnis durch verschiedene Körper hindurch. Dabei steht die Diathermansie der Körper in keiner Beziehung zu ihrer Durchsichtigkeit. Strahlen einer und derselben Wärmequelle, welche nacheinander verschiedene diathermane Substanzen durchdringen, erleiden dabei Verluste, welche nach der Natur dieser Körper verschieden und stets grösser sind als die, welche sie bei dem Durchgange durch weitere Stücke desselben Körpers erfahren. Wärmestrahlen verschiedener Quellen, welche direkt gleiche Temperaturerhöhungen hervorbringen, durchdringen ein und dieselbe Substanz in ungleichem Verhältnis. Was die Abhängigkeit der Diathermansie von der Temperatur der Wärmequelle betrifft, so glaubte man früher, dass mit Zunahme der letztern auch die Diathermansie wachse. Dies trifft bei gewissen Körpern zu, bei andern aber nicht. Nach Versuchen von Knoblauch (48) steht der Durchgang der strahlenden Wärme durch diathermane Körper mit der Temperatur der Wärmequelle nicht in direktem Zusammenhang, sondern ist nur von der Beschaffenheit der diathermanen Substanz abhängig.

Die Diathermansie der Blätter scheint mit der Temperatur zuzunehmen: hiefür sprechen Versuche von Maquenne, Mayer und Müller[2], ohne dass jedoch die bisherigen Resultate die ausgesprochene Vermutung mehr als wahrscheinlich machen könnten.

Über die Abhängigkeit der Diathermansie von der Farbe hat Franz (18) umfassende Untersuchungen angestellt. Er gelangt zu dem Resultat, dass blaue Lösungen für die blauen Strahlen am stärksten diatherman sind, grüne Lösungen für grüne Strahlen, rote für rote. Das Minimum des Lichtverlustes fällt also — wenigstens annähernd — mit dem Minimum des Wärmeverlustes zusammen.

Von besonderem Interesse sind für uns noch die Versuche Tyndalls (117) über die Absorption einer mit wohlriechenden Dämpfen erfüllten Atmosphäre. Als maximaler Wert wurde, für Luft bei Atmosphärendruck als Einheit, für Anis eine Absorption von 372 gefunden. Tyndall gelangt daher zu dem Schlusse, dass dieses Agens, dem die Luft ihren Wohlgeruch verdankt, obgleich fast un-

---

[1] Bei allen Versuchen Maquennes handelte es sich um wenig brechbare Strahlen. Für den Leslie'schen Würfel liegt das auf der Hand, und für die Bourbouze-Lampe sei eine Bemerkung Maquennes erwähnt, nach welcher die leuchtenden Wärmestrahlen nur etwa $^1/_{10}$ der Gesamtwärme betragen.

[2] Diese Versuche werden noch in diesem Kapitel besprochen.

endlich verdünnt, doch die irdische Strahlung kräftiger verhindern kann, als die ganze Atmosphäre vom Himmel bis zur Erde.

Dass die Blätter die Wärme zurückhalten, ist allgemein bekannt; der Baumschatten, den man bei Spaziergängen zur heissen Sommerszeit so gerne aufsucht, ist eben nicht nur Licht-, sondern zugleich auch Wärmeschatten.

Der Erste, welcher die Diathermansie der Blätter zu bestimmen suchte, war N. J. C. Müller (81, pg. 571, 82, pg. 331). Die durchgelassene Wärmemenge wurde nach der von Melloni eingeführten Methode mittelst Thermosäule und Galvanometer bestimmt. Als Wärmequelle wurde entweder die Sonne oder eine Petrollampe (lampe éolienne) benützt. Müller fand, dass wenn ein Blatt in Richtung Thermosäule-Wärmequelle verschoben wird, der Ausschlag der Galvanometernadel sich ändert, ein Resultat, das in Hinsicht auf die schon früher von Melloni ausgeführten Versuche mit matten und polierten Platten nicht überraschen kann. Es ergab sich ferner, dass bei Benützung der Sonne als Wärmequelle ca. $^6/_7$ der auffallenden Strahlen durchgehen. Bei einer Entfernung des Blattes von der Säule von 2 mm verhielt sich nämlich der Ausschlag bei direkter Bestrahlung zum Ausschlag bei Einschalten des Blattes wie 7 : 6. Aus den Untersuchungen Müllers ist ferner zu ersehen, dass verschiedene Blätter in der Regel auch in der Diathermansie differieren. Mehr kann aus den Versuchen des genannten Forschers nicht geschlossen werden. Alle die weiteren Folgerungen Müllers über den Einfluss der Farbe, der Behaarung und Benetzung haben keine Berechtigung, da der Faktor, welcher auf die Diathermansie wohl den grössten Einfluss ausübt, nämlich die Blattdicke, völlig unberücksichtigt blieb.

Weitere Untersuchungen über diesen Gegenstand führte Maquenne (67) aus. Eine direkte empirische Bestimmung der durchgestrahlten Wärme konnte er, infolge der geringen Intensität derselben (Bourbouze-Lampe) nicht vornehmen. Er berechnete daher das Durchstrahlungsvermögen, indem er die Summe von Reflexions- und Absorptionsvermögen von Eins subtrahierte. Bei der Nachrechnung ergaben sich viele Unrichtigkeiten. Da sich nicht ermitteln lässt, ob diese Rechnungs- bezw. Druckfehler erst bei der Berechnung der Diathermansie sich eingestellt haben oder ob vielleicht die früheren Werte über das Absorptions- und Reflexionsvermögen aus irgend einem Grunde fehlerhaft sind, so unterlasse ich es, auf die erhaltenen Resultate einzugehen.

An dieser Stelle seien auch die Untersuchungen von Balsamo erwähnt (6), welche deshalb von Interesse sind, weil vielfach neue Methoden angewandt wurden. Balsamo verfolgte den Zweck zu bestimmen, bis zu welcher Tiefe die Licht- und Wärmestrahlen in die Pflanzen eindringen. Als Wärmequelle diente, soweit dies aus dem Referat im Bullett. soc. bot. ital. zu ersehen ist, elektrisches Licht, doch gelangte wohl auch Sonnenlicht zur Anwendung, da von einem Heliostaten gesprochen wird. Die Verwendung einer elektrischen Lampe scheint mir aus zwei Gründen einen Fortschritt zu bedeuten, auf diese Weise lässt sich nämlich eine sehr konstante und intensive Strahlung erhalten. Zur Untersuchung mit verschiedenen Spektralbezirken wurde ein Rowland'sches Gitter verwendet. Zur Isolierung der Wärmestrahlen wurden Lösungen von J in CS_2 und dünne Ebonitplatten benützt. Zur Wärmemessung diente ein Bolometer, zur Lichtmessung ein Selenelement nach Mercadier oder ein dünnes Selenplättchen. Bei hohlen Organen wurden ferner zur Bestimmung der Absorption besonders konstruierte Geissler'sche Röhren in die betreffenden Hohlräume gebracht. Weitere Details über Versuchsanordnung und die Angabe der Resultate fehlen im Referat. Die Originalabhandlung war mir nicht zugänglich.

Bestimmungen über die Diathermansie führte ferner Mayer aus (69). Derselbe bezeichnet zwar seine Resultate als Werte für die Absorption, in Wirklichkeit geben sie aber die Grösse der Diathermansie. Die Versuchsanordnung ist folgende. Als Wärmequelle dient ein berusster Leslie'scher Würfel, der mit Wasser gefüllt ist, das beständig im Sieden erhalten wird. Man liess nun das eine Mal die freie Strahlung 5 Min. lang auf die Thermosäule wirken und machte dann eine Ablesung. Nachdem die Nadel die Ruhelage wieder eingenommen hatte, wurde ein Blatt in den Weg der Wärmestrahlen eingeschaltet (in welcher Distanz von der Säule, ist nicht angegeben) und nachdem die Wärme 5 Min. lang eingewirkt hatte, wieder abgelesen. Bezeichnet D die Ablenkung bei direkter Strahlung, d die Ablenkung bei Passieren eines Blattes, so werden $\frac{d \cdot 100}{D}$ % der Strahlen durchgelassen.

Mayer glaubte nun den Prozentsatz der absorbierten Strahlen durch Ergänzung der vorigen Zahlen auf 100 erhalten zu können und führt auch die so berechneten Werte in einer Tabelle an, welche die Absorption in Prozenten geben soll. Infolge der völligen Vernachlässigung des Reflexionsvermögens kann diesen Zahlen natürlich kein Wert beigelegt werden. Die für die Diathermansie gefundenen Werte geben uns keinen Anhaltspunkt für die Grösse der Durchstrahlung, da die Distanz zwischen Blatt und Säule nicht gemessen wurde. Die Zahlen können uns somit höchstens eine Vorstellung geben von dem Verhältnis der Diathermansie bei verschiedenen Blättern; leider fehlen aber Angaben über die Blattdicke. Erwähnt sei der folgende Versuch:

Ein *Ulmus*blatt liess 20% der auffallenden Wärme durch,
„ zweites Blatt „ 78% der durch das erste Blatt hindurchgegangenen Wärme durch,
„ drittes „ „ 83% der durch das zweite Blatt hindurchgegangenen Wärme durch,
„ viertes „ „ beinahe die gesamte durch das dritte Blatt hindurchgegangene Wärme durch.

Durch Ausziehen des Chlorophylls versuchte Mayer den Einfluss desselben zu bestimmen; er fand, dass chlorophyllfreie Blätter

der wilden Kirsche 9% mehr Wärme durchlassen als grüne und
von *Cichorium Intybus* 4% „ „ „ „ „

Bei dickern Blättern (Lila, Ulme) konnte kein Unterschied konstatiert werden.

Dies sind die Versuche, welche bisher angestellt worden sind, um das Verhalten der Blätter gegenüber der strahlenden Wärme zu ermitteln.

Ich stellte mir die Aufgabe, die Frage nach der Diathermansie der Blätter — wohl diejenige welche experimentell am leichtesten zu behandeln ist — einer erneuten Untersuchung zu unterwerfen. Die Versuchsordnung war die folgende (Fig. 28). Als Wärmequelle dienten 4 Glühlampen W à 32 Kerzen bei 220 Volt, die dicht hintereinander standen. Als Elektrizitätsquelle wurde der Stadtstrom von 220 Volt benützt; die Lampen waren natürlich parallel geschaltet. Vor der Wärmequelle war ein grosser Doppel-

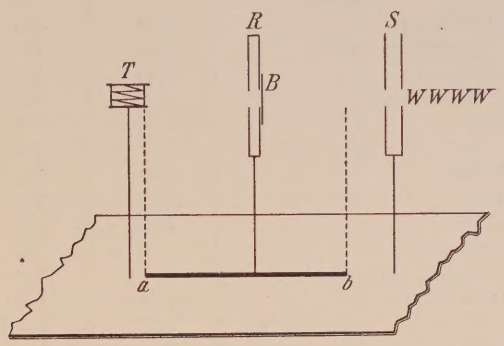


Fig. 28.

schirm S angebracht, der in der Mitte eine runde Öffnung besass. Als Messinstrument diente eine Knoblauch'sche Thermosäule T, dieselbe war 13 cm vom Schirm S entfernt. Die zu untersuchenden Blätter wurden an einem Schirm R befestigt, der von a bis b parallel verschoben werden konnte und in der Mitte eine runde Öffnung von 3,6 cm Durchmesser besass. In der Lage a war die der Säule zugekehrte Blattseite um 9 mm von der Lötfläche enfernt, in der Lage b um 90 mm. Die Thermoströme wurden mit Hilfe eines empfindlichen Spiegelgalvanometers mit Fernrohr und Skala gemessen. Infolge der grossen Intensität der verwendeten Wärmequelle liess man die Strahlung bei jedem Versuch nur 18 Sek. auf die Säule wirken. Vor jeder Bestimmung wurde das Fadenkreuz genau auf den Nullpunkt der Skala eingestellt, dann der die Lampen speisende Strom genau 18 Sek. lang geschlossen und sofort abgelesen. In der folgenden Tabelle sind einige der ausgeführten Versuche angegeben. Um anzugeben, wie viele Ver-

suche ausgelassen wurden, behielt ich die ursprüngliche Nummerierung bei. Die Zahlen sind die Mittel aus 2—3 Bestimmungen. Die Differenz zwischen den einzelnen Ablesungen (aus denen das Mittel genommen wurde) betrug in der Regel im Maximum 2 Skalenteile (in wenigen Ausnahmefällen stieg sie auf 3 oder 4 Skalenteile).

Die kurze Dauer der Bestrahlung ist von grossem Vorteil, da hiedurch Ungenauigkeiten, welche durch die Erwärmung und die hiedurch bedingte Emission der Blätter entstehen, vermieden werden. Die Aufeinanderfolge der Blätter in Tab. X wurde nach der Spreitendicke geordnet. Überall da, wo hinter dem Namen des Blattes nichts dies bezügliches bemerkt ist, wurde die Blattunterseite der Säule zugekehrt, wo das Entgegengesetzte der Fall war, findet sich das Wort „Oberseite" beigefügt. In der Regel legte ich das Blatt in der Weise auf die Öffnung im Schirm R, dass der Mittelnerv dieselbe in 2 gleiche Hälften teile. Gewöhnlich handelte es sich um Laubblätter, wo ein Blütenblatt der Untersuchung unterworfen wurde, ist dies besonders angeführt. Der für die Blattdicke angeführte Wert bildet jeweils das Mittel zwischen Bestimmungen in der Nähe des Mittelnervs und am Rande der vor der Öffnung liegenden Blattfläche. Die Dickenmessungen führte ich mittelst eines Mikrometers mit Gefühlsschraube (schwache Reibung) aus, das bequem 0,01 mm abzulesen erlaubte. Falls verschieden gefärbte Blätter derselben Species vorlagen, so wurde die Farbe jeweils angegeben.

Tabelle X.

	Name des Blattes	Blattdicke in mm	Ablenkung in Skalenteilen bei Distanz des Blattes von der Säule von		
			9 mm	90 mm	Ablenkg. bei 9 mm / Ablenkg. bei 90 mm
1.	*Oenothera* spec., Blumenblatt, gelb	0,02—0,06	698	619	1,13
2.	*Robinia Pseudacacia* L., Schattenblatt, Oberseite	0,06	739	627	1,18
3.	„ „ Unterseite		757	628	1,21
4.	*Papaver Rhoeas* L., Blumenblatt, rot	0,06	767	632	1,21
5.	*Romneya Coulteri* Haw., Blumenblatt, weiss	0,06	708	622	1,14
6.	*Fagus sylvatica* L., Schattenblatt	0,06	756	631	1,20
7.	*Aesculus parviflora* Walt., Schattenblatt	0,07	730	624	1,17
8.	*Hibiscus* spec., Blumenblatt, rot	0,07—0,32	692	619	1,12
9.	*Acer Negundo* L., grün	0,08	756	634	1,20
10.	*Corylus Avellana* L., *fol. aureo*	0,08	720	622	1,16
11.	*Acer Negundo* L., ganz weiss	0,08	765	640	1,20
13.	*Ficus Parcelli* Veitch., grün	0,08	731	625	1,17
14.	*Ulmus montana* With, ganz weiss	0,08	736	631	1,17
15.	*Polygonum sachaliense* F. Schmidt, Schattenblatt	0,09	715	624	1,15
16.	*Acer Negundo* L., ganz weiss, Schattenblatt	0,09	769	642	1,20
17.	„ „ „ grün, „ Nerven etwas kräftiger als an 16.	0,09	745	631	1,18
19.	*Acer Negundo* L., grün, mit 3 kleinen weissen Flecken, Nerven etwas stärker als an 11.	0,09	755	634	1,19
20.	*Tilia argentea DC.*, Schattenblatt	0,09	728	622	1,17
21.	*Spiraea Arancus* L.	0,10	700	619	1,13
22.	*Ulmus montana pendula* Hort. kein Mittelnerv, vergilbtes Schattenblatt	0,10	723	623	1,16
23.	„ „ grünes „	0,10	718	621	1,14
24.	*Boehmeria* spec., grün	0,10	689	616	1,12
26.	*Aesculus Hippocastanum* L., Blattspitze, Schattenblatt	0,10	725	624	1,16
29.	*Ficus Parcelli* Veitch., weiss, nur wenige kleine grüne Flecken	0,10	730	624	1,17
30.	*Ulmus montana* With, ganz grün	0,10	727	624	1,17
32.	*Acer Negundo* L., weiss.	0,11	757	639	1,19

Name des Blattes	Blattdicke in mm	Ablenkung in Skalenteilen bei Distanz des Blattes von der Säule von 9 mm	90 mm	Ablenkg. bei 9 mm / Ablenkg. bei 90 mm
33. *Cladrastis lutea* Rafin	0,11	710	620	1,15
35. *Fagus sylvatica* L., *var. purpurea* Aiton, ganz rot	0,11	716	623	1,15
36. *Acer Negundo* L., Sonnenblatt, grün	0,12	739	628	1,18
37. *Broussonetia papyrifera* Vent.	0,12			
Schattenblatt, Unterseite		705	618	1,14
Oberseite		710	618	1,15
40. *Fagus sylvatica* L., Sonnenblatt	0,12	706	620	1,14
42. *Rosa* spec., gelbes Blumenblatt	0,12—0,15	675	616	1,10
46. *Horminum pyrenaicum* L.	0,13	671	612	1,10
47. *Cercis Siliquastrum* L.	0,13	711	620	1,15
49. *Alnus glutinosa* Gärtn.	0,13	720	623	1,16
51. *Syringa vulgaris* L., Schattenblatt	0,14			
Oberseite		716	622	1,15
Unterseite		711	623	1,14
52. *Robinia Pseudacacia* L., Sonnenblatt	0,14			
Oberseite		705	622	1,13
Unterseite		715	622	1,15
54. *Cercis Siliquastrum* L.	0,14	707	619	1,14
55. *Acalypha musaica hort.*, rot	0,14	698	618	1,13
56. *Bignonia grandiflora*	0,14	690	616	1,12
58. *Corylus Avellana* L., *f. atropurpurea* Loud., Unterseite ganz rot, Oberseite grünrot	0,14	708	622	1,14
59. *Populus nigra* L., grün	0,15	708	620	1,14
63. *Atropa Belladonna* L.	0,15	680	616	1,10
65. *Tilia argentea DC.*, Sonnenblatt	0,15	688	616	1,12
68. *Oxydendrum arboreum DC.*	0,15	715	622	1,13
75. *Verbascum Blattaria* L.	0,16	664	612	1,09
77. *Populus tremula* L.	0,16	707	617	1,15
80. *Polygonum sachaliense* F. Schmidt, Sonnenblatt	0,17	681	615	1,11
84. *Aesculus parviflora* Walt., Sonnenblatt	0,17	685	614	1,11
85. *Anona reticulata* L.	0,17	708	620	1,14
87. *Broussonetia papyrifera* Vent., Sonnenblatt	0,18			
Unterseite		678	614	1,10
Oberseite		682	614	1,11
89. *Salvia Heerii* Regel	0,18	690	616	1,12
91. *Aesculus Hippocastanum* L., Blattspitze, Sonnenblatt	0,18	683	614,5	1,11
93. *Episcia chontalensis* Hook.	0,18	690	618	1,12
94. *Borrago officinalis* L.	0,18	667	615	1,09
95. *Althaea rosea*	0,19	663	613	1,08
98. *Centradenia grandifolia* Endl.	0,19	697	616	1,13
100. *Canna indica* L., Mittelrippe ausserhalb der Schirmöffnung, rot	0,20	699	617	1,13
101. *Evonymus latifolius*	0,20	678	615	1,10
104. *Boehmeria argentea*	0,20	667	615	1,09
107. *Homalanthus Leschenaultianus* A. Juss., grün	0,20	689	617	1,12
„ „ ziegelrot	0,20	695	618	1,12
108. *Magnolia Lennei* Van Houtte, grün	0,20	679	616	1,10
bräunlich	0,20	691	616	1,12
110. *Liriodendron tulipifera* L.	0,21	685	617	1,11
111. *Hedera Helix* L.	0,21	678	615	1,10
114. *Canna indica* L., Mittelrippe ausserhalb der Schirmöffnung, grün	0,23	685	615	1,11

	Name des Blattes	Blattdicke in mm	Ablenkung in Skalenteilen bei Distanz des Blattes von der Säule von		
			9 mm	90 mm	Ablenkg. bei 9 mm / Ablenkg. bei 90 mm
115.	*Ulmus montana pendula* Hort., grün, Sonnenblatt	0,23	675	613	1,10
118.	*Mentha* spec.	0,23	668	614	1,09
120.	*Arbutus Andrachne* L.	0,24	675	614	1,10
122.	*Scolopendrium vulgare* Sm.	0,25	665	614	1,08
123.	*Canna indica* L., rot, Mittelrippe innerhalb der Schirmöffnung	0,25	665	613	1,09
124.	„ „ rot, Mittelrippe ausserhalb der Schirmöffnung	0,25	696	617	1,13
125.	*Isatis tinctoria* L.	0,25	657	613	1,07
131.	*Eucalyptus populifolia* Hook., grün	0,27	692	618	1,12
132.	*Olea ferruginea*	0,27	674	614	1,10
133.	*Begonia involucrata* Liebm.	0,27	694	616	1,13
135.	*Saxifraga crassifolia* L.	0,28	643	609	1,06
136.	*Eucalyptus populifolia* Hook., rot	0,28	649	610	1,06
138.	*Clethra arborea* Ait.	0,28	668	613	1,09
140.	*Syringa vulgaris* L., Sonnenblatt, Oberseite	0,30	657	613	1,07
	Unterseite	0,30	662	612	1,08
141.	*Sauromatum guttatum* Schott	0,30	646	611	1,06
144.	*Hydrangea Hortensia* Siebold	0,32	656	610	1,08
147.	*Veratrum nigrum* L.	0,34	661	611	1,08
148.	*Glaucium luteum* Scop.	0,36	650	609	1,07
149.	Dasselbe Blatt ohne Wachs	0,36	650	609	1,07
153.	*Ilex aquifolium* L, Unterseite	0,40	656	611	1,07
	Oberseite	0,40	654	610	1,07
155.	*Camellia japonica* L.	0,40	644	608	1,06
158.	*Eryngium maritimum* L., ganz weiss von Wachs	0,42	639	607	1,05
162.	*Ficus elastica* Roxb.	0,50	635	607	1,05
163.	*Nymphaea alba* L., zwischen Fliesspapier abgetrocknet	0,50	634	608	1,04
165.	*Hoya carnosa* R. Br.	0,80	635	606	1,05
166.	*Cotyledon Uhinkii* Hort.	3,20—4,00	616	602,5	1,02
	Freie Strahlung		1007	1007	1,00
	Glasplatte, durchsichtig	1,45	942	941	1,00
	Glasplatte, matt, matte Seite geg. Säule	1,46	908	830	1,09
	„ „ „ „ „ Wärmequelle	1,46	893	830	1,08

Diese Tabelle zeigt uns, dass rund ca. 70% der auffallenden Strahlen die Lötfläche treffen, wenn das Blatt 9 mm von der Säule entfernt ist und rund ca. 60%, wenn es um 90 mm absteht. Die stärkste beobachtete Differenz in der Diathermansie zweier (gleichweit von der Säule abstehender) Blätter beträgt 15 % der auffallenden Strahlen.

Im Anschluss führe ich die von Maquenne, Mayer und Müller gefundenen Resultate an.

Nach Maquenne treten im Mittel 22% durch — Bourbouze-Lampe,
„ Mayer „ etwas weniger als 20% „ — Leslie Würfel,
„ Müller bei 2 mm Distanz ca. 85% „ — Sonne,
„ „ 4 cm „ 30% „ — Sonne,
„ „ 2 mm ? „ 45% „ — lampe éolienne.

Die von Maquenne für die Bourbouze-Lampe gefundenen Werte können jedoch, trotz der ausserordentlich grossen Gewissenhaftigkeit, mit der dieser Forscher gearbeitet zu haben scheint, aus den bei der Absorption und der Diathermansie angeführten Gründen, nicht den Grad von Genauigkeit be-

sitzen, der der geopferten Zeit und Arbeit entspricht. Die von Müller, Mayer und mir angewandte Methode ist an sich unvollkommen, sie liefert um so brauchbarere Resultate, je kleiner die Distanz zwischen Blatt und Säule ist; genaue Werte sind aber — wenigstens theoretisch — nur für eine unendlich kleine Distanz zu erhalten. Bei den Versuchen Mayers wurde die Distanz zwischen Blatt und Säule nicht angegeben, die angeführte Zahl ist somit wertlos (seine Versuche können daher nur über die Verhältnisse der Diathermansie bei verschiedenen Blättern, nicht aber über die Grösse der Diathermansie belehren). Zudem macht auch noch die lange Bestrahlung (5 Min.) die Resultate zweifelhaft, in dem die angegebenen 20 % nicht nur durchgestrahlte, sondern auch von dem erwärmten Blatt emittierte Wärme enthalten können. Die wenigen Versuche Müllers mit der Sonne als Wärmequelle kommen den von mir gefundenen Resultaten am nächsten.

Kehren wir zu unsern Versuchen zurück.

Es ist a priori leicht ersichtlich, dass die Diathermansie abhängig sein muss von der Dicke des Blattes und seinem Wassergehalt; es steht aber auch zu erwarten, dass Färbung, Behaarung und Wachsüberzüge für die Durchstrahlung Bedeutung haben werden.

Um die Abhängigkeit von der Blattdicke leicht konstatieren zu können, wurden bereits in Tab. X die Blätter in dieser Hinsicht geordnet. Dass die Ablenkungen nicht in umgekehrter Proportion wie die Blattdicken zunehmen, wurde von Melloni (75) experimentell gezeigt und lässt sich auch leicht theoretisch ableiten. Um die Art dieser Abhängigkeit im grossen und ganzen kurz übersehen zu können, gebe ich im folgenden für jede Blattdicke das Mittel der gefundenen Ablenkungen.

Tabelle XI.

Blattdicke in mm	Ablenkung in Skalenteilen bei Distanz des Blattes von der Säule von		Blattdicke in mm	Ablenkung in Skalenteilen bei Distanz des Blattes von der Säule von	
	9 mm	90 mm		9 mm	90 mm
0,06	745	628	0,21	681	616
0,07	730	624	0,23	678	614
0,08	744	630	0,24	675	614
0,09	736	629	0,25	674	614
0,10	717	622	0,27	687	616
0,11	725	626	0,28	655	611
0,12	705	620	0,30	654	612
0,13	700	619	0,32	656	610
0,14	708	621	0,34	661	611
0,15	696	618	0,36	650	609
0,16	694	617	0,40	651	610
0,17	690	616	0,42	639	607
0,18	681	615	0,50	635	607
0,19	681	615	0,80	635	606
0,20	685	616	3,6	616	603

Wir sehen hieraus, dass im grossen und ganzen mit Zunahme der Blattdicke die Diathermansie abnimmt und dass der Einfluss der Blattdicke um so geringer wird, je dicker die Blätter sind. Dieses Resultat war, wie schon bemerkt, vorauszusehen, da sowohl theoretisch als experimentell für homogene Körper dieses Verhalten nachgewiesen wurde. Infolge des ungleichmässigen Baues verschiedener Blätter kann eine grössere Gesetzmässigkeit in Tab. XI nicht erwartet werden.

Das Verhältnis der Ablenkung in 9 mm und 90 mm Distanz müsste für alle Blätter dasselbe sein, wenn alle die durchtretenden Strahlen gleich stark zerstreuen würden; dies ist nun aber, wie die Zahlen der Tab. XI zeigen, nicht der Fall. Das Verhältnis schwankt zwischen 1,21 und 1,02. Je grösser dieses Verhältnis ist, um so stärker ist die Zerstreuung. Die betreffenden Zahlen zeigen, dass im grossen

und ganzen die Zerstreuung um so geringer wird, je mehr das Blatt an Dicke zunimmt, ein Resultat, das entschieden auffallen muss, falls man die Zerstreuung als eine Folge von Reflexionen und Brechungen im Blattinnern und an der Grenze zwischen Blatt und Luft ansieht. Für die auf einer Seite matte Glasplatte (Tab. X) ergab sich eine grössere Diffusion, wenn die matte Seite der Säule zugekehrt war. Eine Beziehung zwischen der Diffusion und der Beschaffenheit der Oberfläche (Behaarung, Wachsüberzug) ist nicht mit Sicherheit nachzuweisen. Dagegen konnte mit Bestimmtheit festgestellt werden, dass die Diffusion einen andern Wert hat, je nachdem die Unter- oder die Oberseite derselben Spreite der Säule zugekehrt ist; doch ist die Zahl der Versuche noch zu klein, um den Zusammenhang mit der Beschaffenheit des Blattes feststellen zu können. Vor allem sind Versuche notwendig mit Blättern, deren Seiten möglichst verschieden gebaut sind.

Die Diathermansie der Blätter derselben Pflanze ist um so kleiner, je dicker das Blatt ist, sie muss also bei Schattenblättern grösser sein als bei Sonnenbättern. Die diesbezüglichen Beispiele sind im folgenden zusammengestellt.

Tabelle XII.

Nr. [1]	Name	Blattdicke	Ablenkung bei Distanz von 9 mm	Ablenkung bei Distanz von 90 mm
51	*Syringa vulgaris*, Schattenblatt, Oberseite	0,14	716	622
	„ „ „ Unterseite	0,14	711	623
140	„ „ Sonnenblatt, Oberseite	0,30	657	613
	Unterseite	0,30	622	612
2	*Robinia Pseudacacia*, Schattenblatt, Oberseite	0,06	739	627
	„ „ „ Unterseite	0,06	757	628
52	„ „ Sonnenblatt, Oberseite	0,14	705	622
	Unterseite	0,14	715	622
15	*Polygonum Sachaliense*, Schattenblatt	0,09	715	624
	„ „ Sonnenblatt	0,17	681	615
7	*Aesculus parviflora*, Schattenblatt	0,07	730	624
84	„ „ Sonnenblatt	0,17	685	614
6	*Fagus silvatica*, Schattenblatt	0,06	756	631
40	„ „ Sonnenblatt	0,12	706	620
26	*Aesculus Hippocastanum*, Schattenblatt	0,10	725	624
91	„ „ Sonnenblatt	0,18	683	614,5
20	*Tilia argentea*, Schattenblatt	0,09	728	622
65	„ „ Sonnenblatt	0,15	688	616
23	*Ulmus montana pendula*, Schattenblatt	0,10	718	621
115	„ „ „ Sonnenblatt	0,23	675	613

Der Einfluss des Chlorophylls auf die Diathermansie wurde bereits von Maquenne und Mayer untersucht. Maquenne experimentierte mit Chlorophylllösungen, Mayer mit grünen Blättern, denen mittelst eines Lösungsmittels der Farbstoff entzogen worden war. Jede dieser Methoden hat ihre Vor- und Nachteile. Für die Untersuchungsweise Mayers spricht der Umstand, dass zu beiden Versuchen ein und dasselbe Blatt verwendet werden kann, dagegen bedeutet die Behandlung der Blätter mit einem Lösungsmittel entschieden einen Nachteil. Denn dieses zieht nicht nur das Chlorophyll aus, sondern ruft noch manche weitere Änderungen hervor, das Plasma wird getötet, das Wasser z. T. durch das Lösungsmittel ersetzt und unter Umständen auch die Temperatur des Blattes ganz bedeutend verändert. Mein Bestreben ging in erster Linie dahin zu untersuchen, ob die Diathermansie gesunder grüner

[1] Die Nr. bezieht sich auf Tabelle X.

Blätter von derjenigen gesunder weisser derselben Species unter sonst gleichen Bedingungen messbar abweicht. Als Untersuchungsobjekte dienten mir Blätter von Pflanzen mit panachierten Varietäten. Die Bestimmungen der Diathermansie am grünen und panachierten Blatt geschahen an korrespondierenden Stellen.

Nr.			Dicke	Ablenkung 9 mm	Ablenkung 90 mm
16.	*Acer Negundo*	weiss	0,09	769	642
17.	„ „	grün	0,09	745	631
36.	„ „	grün	0,12	739	628
32.	„ „	weiss	0,11	757	639
9.	„ „	grün	0,08	756	634
11.	„ „	weiss	0,08	765	640
13.	*Ficus Parcelli*	grün	0,08	731	625
29.	„ „	weiss			
	mit grünen Flecken:		0,10	730	624
14.	*Ulmus montana*	weiss	0,08	736	631
30.	„ „	grün	0,10	727	624

Diese Zahlen zeigen, dass ein chlorophyllhaltiges Blatt immer weniger diatherman ist als ein gleich dickes chlorophyllfreies, dass sogar panachierte Blätter mehr Strahlen durchlassen als bedeutend dünnere grüne. Panachierte *Acer*blätter liessen in dem einen Fall 1,2%, in dem andern 3,1% mehr Wärme durch als gleichdicke grüne. Mayer fand nach seiner Methode für *Cichorium Intybus* eine Differenz von 4%, für die wilde Kirsche eine solche von 9%.

Nachdem Maquenne die Wärme absorbierende Kraft des Chlorophylls aufs deutlichste nachgewiesen hatte, wurde es durch die Versuche Mayers wahrscheinlich, dass diese Absorption einen solchen Betrag erreicht, dass sie für das Blatt von Bedeutung sein kann. Die von mir gefundenen Resultate erheben diese Vermutung zur Gewissheit, zeigen aber auch, dass die Werte Mayers für die Absorption des Chlorophylls zweifelsohne zu hoch sind.

Was den Einfluss der Rotfärbung betrifft, so scheinen die Versuche mit *Homalanthus* Nro. 107 dafür zu sprechen, dass die herbstliche Rotfärbung die Diathermansie steigert, doch gilt dieses Resultat zunächst nur für *Homalanthus* und darf nicht ohne weiteres auf andere Pflanzen ausgedehnt werden. Vor allem ist zu betonen, dass es sich hier um herbstliche Rotfärbung handelt, d. h. um eine Erscheinung, die mit der Degeneration des Blattes Hand in Hand geht. Es ist daher leicht möglich, dass wir hier nicht der Rotfärbung, sondern der Degeneration des Chlorophylls die grössere Diathermansie zuzuschreiben haben.

Aus der hohen Bedeutung der Blattdicke für die Diathermansie geht hervor, dass die Nervatur und die Stärke der Nerven grossen Einfluss auf die Durchstrahlung ausüben wird.

Ausser dem Chlorophyll, dessen Absorptionsfähigkeit besprochen wurde, sind es noch 2 andere Stoffe, welche wegen der grossen Rolle, die sie bei der Zusammensetzung des Blattes spielen, von hervorragendem Interesse sind, ich meine das Plasma und vor allem das Wasser. Nach Versuchen von Melloni lässt von 100 auffallenden Strahlen eine 9,21 mm dicke Schicht von aq. dest. 11 durch, Eiweiss 11, Spiegelglas 53. Die Diathermansie von Wasser und Eiweiss ist 5mal geringer als die von Spiegelglas, also äusserst klein. Es geht daraus hervor, dass die Blätter ihre Absorption zum grossen Teile dem Gehalt an Plasma und besonders dem Wasser zu verdanken haben.

Die in Tab. X gegebenen Zahlen gelten, da die Diathermansie der Blätter von der Temperatur und der Natur der Wärmequelle abhängig ist, in erster Linie nur für die benützte Wärmequelle.

Die Diathermansie ist von grösster Bedeutung für alle die Blätter, welche von andern ganz oder teilweise beschattet werden. Diese beschatteten Blätter können allerdings auch von der Seite her Licht und Wärme empfangen; nun ist aber schon die Intensität dieser diffusen Strahlen viel geringer als die der direkten und dann fallen dieselben auch mehr oder weniger schief auf. Bei den folgenden Betrach-

tungen wollen wir von dieser seitlichen Strahlung ganz abstrahieren; wir setzen ferner voraus, dass die Diathermansie für Sonnenstrahlen derjenigen für die von den 4 Glühlampen kommenden Strahlen gleich sei. Denken wir uns auf einem von der Sonne ausgehenden parallelen Strahlenbündel eine Reihe genau gleicher Blätter, deren Spreitenflächen auf den Strahlen senkrecht stehen und die voneinander jeweils um 9 cm entfernt sind. Auf das vorderste Blatt falle die Wärmemenge 100, auf das zweite Blatt trifft dann die Wärmemenge 60. Vorausgesetzt, dass die Absorption nach dem für Lichtstrahlen gültigen Gesetze, vor sich geht, so fällt auf das dritte Blatt die Wärmemenge 36, auf das vierte 22, auf das fünfte 13, das sechste 8, das siebente 5, das achte 3, das neunte 2, das zehnte 1. Die gemachte Voraussetzung trifft nun aber, wie schon aus Mellonis Versuchen hervorgeht, nicht zu. Die Absorption gleichdicker Schichten nimmt ja bekanntlich mit Zunahme der Dicke der Schicht ganz bedeutend ab. Nach Versuchen Mayers mit dem Leslie'schen Würfel als Wärmequelle gehen bei dicht aufeinander gelegten Blättern durch das erste 20%, durch das zweite 78%, durch das dritte 83% der auffallenden Strahlen durch. Die bisherigen Messungen reichen jedoch nicht aus, um genau angeben zu können, wie viel in bestimmter Distanz voneinander abstehende, gleiche Blätter die Wärmestrahlung der Sonne durchdringen kann. Die Tatsache, dass bei den Versuchen Mayer's schon das vierte Blatt völlig diatherman war, ist für das Blatt von grösster Bedeutung. Eine grosse Menge von Energie geht dem Blatt auf diese Weise direkt verloren und kann nur indirekt, durch Erwärmung von Boden und Luft, durch Förderung physikalischer und chemischer Prozesse im Boden, der Pflanze zum Nutzen dienen. Absorbierbare Wärme, und auf diese kommt es ja an, erhalten die Blätter, die von andern beschattet sind, nur in sehr geringer Menge, sie sind daher hauptsächlich auf die durch Leitung zugeführte Wärme angewiesen.

B. Temperatur der Blätter.

Die Temperatur der Blätter ist bedingt teils durch die durch Atmung in ihnen erzeugte, teils durch die durch Leitung aus Luft und Boden oder Strahlung zugeführten Wärme.

Bei Zusammenhäufen junger Laubblätter erhöht sich die Temperatur derselben erheblich (bis 10° C) (86,2, I. Aufl., pg. 405), was eine Folge der durch Sauerstoffatmung erzeugten Wärme ist. Eine solche Erwärmung durch Zusammenhäufen von Blättern wies Göppert nach (22 [1]). Dutrochet (13) fand, dass Blätter von *Sempervivum tectorum* 0,03° C im Maximum höhere Temperatur haben als die umgebende Luft. Blumenblätter von Rosen, Papaver und Paeonien zeigten keine Eigenwärme. M. van Beek (7) erhielt bei Versuchen mit *Sedum Cotyledon* und *Sempervivum spatulatum* für ersteres 0,25° C. Göppert mass die Temperaturerhöhung mit einem Thermometer, Dutrochet und van Beek benützten Thermonadeln. Ihre Versuchsanordnung war folgende: Die eine Lötstelle wurde in ein lebendes, die andere in ein — durch Eintauchen in heisses Wasser — getötetes Blatt gestochen. Um Abkühlung durch Transpiration zu verhindern, befanden sich die Blätter unter einer Glocke mit dampfgesättigter Luft. Die Resultate Göpperts und Dutrochets zeigen nach Schumacher (106) bedeutende Unterschiede, welche auf die Verschiedenheit der Untersuchungsmethoden zurückzuführen sein sollen.

Einige wenige kalorimetrische Messungen der durch Atmung gewonnenen und der von der Pflanze abgegebenen Wärmemenge hat Bonnier ausgeführt (8, 9, 10). Neben andern Pflanzenteilen wurden auch Blätter der Untersuchung unterworfen. (9) war mir nicht zugänglich. Aus der kurzen Mitteilung in (10) ist zu entnehmen, dass die Wärmeabgabe junger Blätter grösser ist als diejenige, welche durch die Bildung der entstandenen CO_2 frei wird. Bei alten Blättern verhält sich die Sache umgekehrt, es wird weniger Wärme abgegeben, als man aus der Menge der gebildeten CO_2 erwarten sollte. Zahlen sind nicht angegeben.

---

[1] Diese Abhandlung war mir nicht zugänglich.

Ausser durch Oxydation muss auch Wärme entbunden werden durch die Bewegung des Saftstroms in den Tracheen und Tracheiden, durch Diffusions- und diosmotische Strömungen. Für die Temperatur des Blattes werden diese Wärmequellen aber kaum eine Bedeutung haben.

Die durch Atmung erzeugte Wärme reicht lange nicht aus, um einem frei in der Luft schwebenden Blatt eine solche Temperatur zu erteilen, wie wir sie tagsüber messen können, denn nachts sinkt die Temperatur ganz gewaltig. Diese letztere Tatsache, im Verein mit der beinahe konstanten Bodentemperatur sagt deutlich, dass die hauptsächlichste Wärme nicht durch Leitung aus dem Boden, sondern durch Leitung aus der Luft und vor allem durch Strahlung in das Blatt gelangt.

Die Blatttemperatur muss also neben der im Stoffwechsel produzierten und absorbierten Wärme, von folgenden Faktoren abhängig sein:

1. Strahlung und Leitung (durch Boden und Luft),
   a) Intensität der Strahlung,
   b) Einfallswinkel.
2. Reflexionsvermögen,
3. Absorptions- und Emissionsvermögen,
   Farbe.
4. Spezifische Wärme,
5. Transpiration,
6. Gasaustausch,
7. Taubildung.

Die Temperatur des Blattes stellt uns eine Resultante vor, die durch eine grosse Zahl von Komponenten bedingt ist, welche erst sehr wenig bekannt sind.

Bei den bisherigen Untersuchungen wurde die Blatttemperatur entweder mit Hilfe eines Thermometers oder einer Thermonadel mit Galvanometer bestimmt.

Während das Thermometer eine direkte absolute Messung gestattet, ermöglicht die thermoelektrische Methode nur eine Vergleichung zweier Temperaturen; ist aber das Instrument graduiert und die Temperatur der einen Lötstelle bekannt, so sind auch auf diesem Wege eigentliche Temperaturbestimmungen möglich.

Die Natur der wichtigsten Wärmequelle, der Strahlung, sagt uns, dass dem Blatt unmöglich eine konstante Temperatur zukommen kann, denn die Intensität der von der Sonne zugesandten Wärmestrahlen schwankt im Verlauf eines Tages zwischen weiten Grenzen. Die Gestalt des Blattes begünstigt ferner die Temperaturausgleichungen zwischen Blatt und Luft so viel wie möglich, da die Oberfläche im Verhältnis zum Blattgewicht kolossal gross ist.

Die ersten Versuche zur Bestimmung der Blatttemperatur machte Rameaux (91). In der citierten Abhandlung werden jedoch keine Messungsresultate und auch keine Versuchsmethoden angeführt. Rameaux beschränkt sich ganz auf die Mitteilung der Stammtemperaturen und bemerkt nur bezüglich der Blätter, dass er bei dem Versuch, die Blatttemperatur zu bestimmen, auf Schwierigkeiten gestossen sei, die er bis dahin nicht überwinden konnte. Eine spätere diesbezügliche Publikation von Rameaux konnte ich nicht finden.

Im Juli 1865 machte Schumacher (106, pg. 385) einige Bestimmungen über die Blatttemperatur. Er schreibt darüber folgendes: „Während die eine Seite des Blattes der Insolation ausgesetzt war, brachte ich ein Thermometer dicht an die untere Seite des Blattes, so aber, dass dasselbe von der Sonne nicht getroffen werden konnte und von dem Boden und den Blättern keine höhere Temperatur empfangen konnte, als das untersuchte Blatt selbst besass; das Thermometer empfing auf der einen Seite eine niedrigere Temperatur als die von dem untersuchten Blatte. Die Temperatur, welche das Thermometer zeigte, und die von der aus dem Blattgewebe ausgestrahlten Wärme herrührt, können wir nahezu der Temperatur des Blattgewebes selbst gleichsetzen, jedenfalls war diese noch höher, als sie vom Thermometer angezeigt wurde.“ Falls die Temperatur der Luft niedriger war als die des Blattes, so musste, da nur ein Teil des Quecksilbergefässes dem Blatt anlag, die am Thermometer abgelesene

Temperatur niedriger sein als die des Blattes. In dieser Versuchsanordnung liegt aber noch eine weitere Fehlerquelle, die in entgegengesetztem Sinne wirkt. Wir wissen, dass im Mittel mindestens 70% der auffallenden Strahlen das Blatt passieren, diese werden auf das Thermometer fallen und dasselbe erwärmen, gleichgültig, ob die Temperatur des Blattes durch Insolation sich ändert oder nicht. In welchem Maße diese beiden Fehlerquellen das Resultat beeinflussen, habe ich nicht festzustellen versucht.

Im Sommer 1874 machte Askenasy Beobachtungen über die Temperatur, die Blätter im Sonnenlicht annehmen. Askenasy schreibt (4): „Die Quecksilberkugel des Thermometers wurde entweder dicht an die Oberfläche der Pflanze angelegt, oder letztere wurden eingeschnitten und die Quecksilberkugel in diesen Schnitt (z. B. in das Innere einer Sempervivum-Rosette) eingesteckt. Die auf letztere Art erhaltene Temperatur ist unten immer besonders als Temperatur im Innern der Pflanze angeführt". Es sei hier gleich bemerkt, dass es zweckmässiger ist, statt eines Einschnittes nur ein Loch in das betreffende Blatt zu machen, welches so gross ist, dass es von der Kugel des Thermometers gerade ausgefüllt wird. In diesem Falle wird nämlich die Abkühlung durch Wasserverdunstung beinahe ganz eliminiert und dadurch die Bestimmung genauer; zugleich wird auch die Pflanze weniger beschädigt. Bezüglich der andern Methode, bei welcher das Thermometer dem Blatt einfach angedrückt wird, gelten die bei den Versuchen Schumachers gemachten Bemerkungen.

Während die Temperatur im Schatten 31° C betrug, fand Askenasy z. B.:

Sempervivum alpinum	49,3° C
Im Innern der Pflanze	49,7° C
Sempervivum arenarium	48,7° C
Im Innern der Pflanze	48,7° C
Sempervivum spec.	51,2° C
Im Innern der Pflanze	48,7° C
Bodenoberfläche	43—44° C

Diese Bestimmungen wurden am 15. Juli nachmittags 3^h ausgeführt; schon um $11^h\ 30^m$ a. m. zeigte *Sempervivum alpinum* 48,5° C. Hienach besitzt die Pflanze diese hohe Temperatur also nicht nur kurze Zeit. Am 18. Juli $12^h\ 30^m$ bei einer Schattentemperatur von 28,1° C fand Askensay bei *Sempervivum alpinum* sogar 52° C.

Bei einigen Bestimmungen Stahls (110, pg. 198) zeigten Blätter im Warmhaus abends und nachts annähernd dieselbe Temperatur, wie die Luft; es wurde hiebei die Thermometerkugel mit der betreffenden Blattspreite umwickelt.

Im Herbst 1901 habe ich Temperaturbestimmungen ausgeführt, welche im folgenden besprochen werden sollen. Die Versuchsblätter stunden, wo nichts Besonderes bemerkt ist, im Basler botanischen Garten. Zur Temperaturbestimmung dienten 4 Thermometer mit kleinen cylindrischen Gefässen. Dieselben erlaubten Bestimmungen zwischen —10° bis 50° C und waren in halbe Grade eingeteilt. Die maximalen Differenzen in den Angaben der benützten Thermometer betrugen 0,3°. Es wurden bestimmt die Blatttemperatur, die Bodentemperatur, 2 Thermometer wurden ferner in der Luft aufgehängt. Da dasselbe Thermometer jeweils nur zur Bestimmung der Temperatur gleichartiger Körper verwendet wurde, so konnte das Verhältnis der Temperatur gleichartiger Körper (z. B. der verschiedenen Blätter) aus diesem Grunde nicht fehlerhaft bestimmt werden; einzig die Beziehung zwischen den Temperaturen verschiedenartiger Körper wurde ungenau. Die notwendige Korrektion habe ich nicht vorgenommen, da sie für den beabsichtigten Zweck unnötig gewesen ist. Die Beziehung der Temperatur zwischen Blatt, Luft und Boden auf 0,5° genau anzugeben, genügte mir. Aus demselben Grunde wurden auch anderweitige Korrektionen wie die für den herausragenden Faden nicht vorgenommen.

Zur Bestimmung der Temperaturen habe ich aus mehreren Gründen das thermometrische dem thermoelektrischen Verfahren vorgezogen. 1) gestaltet sich das erstere in praxi viel einfacher, 2) lagen die Temperaturgrenzen so weit auseinander, dass man entweder ein unempfindliches Galvanometer hätte verwenden oder aber durch Einschaltung von Widerständen die Stromintensität bei grösseren Tempe-

raturdifferenzen hätte schwächen müssen; durch besondere Versuche wäre dann noch die durch den Widerstand bedingte Verminderung des Ausschlages zu bestimmen gewesen, 3) lag es in meiner Absicht, auch auf höher gelegenen Punkten ähnliche Bestimmungen vorzunehmen. Da aber alle Messungen, falls sie direkt vergleichbare Resultate geben sollten, nach derselben Methode ausgeführt werden mussten, so war das thermoelektrische Verfahren schon aus diesem Grunde von vorneherein ausgeschlossen.[1]

Das Thermometer wurde auf die Oberseite des zu untersuchenden Blattes gelegt, so dass das Quecksilbergefäss ungefähr in die Mitte der Spreite zu liegen kam. Darauf fasste man die Unterseite mit Hilfe eines dicken Wattebausches und klappte das Blatt um die Mittelrippe als Achse zusammen. Mittelst einer leichten Holzklammer wurde das Blatt in der bezeichneten Lage gehalten und das Thermometer der Oberseite dicht angedrückt. Bei der ganzen Operation wurde somit das Blatt nur mit einem schlechten Wärmeleiter berührt. Der Wattebausch sollte ferner eine Erwärmung des Thermometers durch die infolge Diathermansie des Blattes durchdringenden Sonnenstrahlen möglichst verhüten und überhaupt jeder Temperaturänderung des Blattes während der Beobachtung vorbeugen. Die Ablesung erfolgte jeweils nach 5 Min. Bei Rosettenblättern wurde das Thermometer zwischen zwei dicht anliegende Blätter eingeschoben. Bei isolierten fleischigen Organen (Blatt oder Sprossachse) wurde ein 2—4 cm tiefes Loch vom Durchmesser des Thermometers in das Blatt gebohrt und das Thermometer hineingesteckt. Da das Thermometer die ganze Öffnung ausfüllte, so war ein Bestreichen des Lochrandes mit Wachs zur Verhinderung einer Abkühlung durch Verdunstung nicht nötig. Bei fleischigen Blättern bezw. Sprossachsen wurde kein Wattebausch angewendet. In allen den Fällen nämlich, in welchen die Temperatur des Blattes höher ist als die des blanken freibestrahlten Thermometers, fällt natürlich die durch die Diathermansie des Blattes bedingte Fehlerquelle weg. Die Bodentemperatur wurde mit einem Thermometer gemessen, dessen Kugel dicht neben der Pflanze 10 cm in den Boden eingesenkt worden war. Zwei weitere Thermometer, das eine mit blanker, das andere mit berusster Kugel, waren an einer Stange befestigt, die jeweils neben das zu untersuchende Blatt gestellt wurde; die Thermometer waren dabei derselben Insolation ausgesetzt wie die Blätter. Die Lufttemperatur gab keines der beiden Thermometer an,[2] dieselbe ist aus Tab. XIV zu entnehmen, welche die Aufzeichnungen des Thermographen der Basler meteorologischen Anstalt enthält.

Es wurden nur solche Sonnen-Blätter untersucht, welche mittags annähernd senkrecht von den Sonnenstrahlen getroffen wurden und vom Morgen bis Abend der direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt waren. Wo nichts besonderes bemerkt ist, handelt es sich um solche Sonnenblätter. In der mit „Insolation" überschriebenen Kolonne ist angegeben, ob das Blatt bezw. der Wattebausch zur Zeit der Temperaturbestimmung von Sonnenstrahlen getroffen wurde oder nicht. Die übrigen Angaben sind ohne weiteres verständlich; die Resultate finden sich in Tab. XIII zusammengestellt.

Der Übersichtlichkeit wegen führe ich noch die Temperaturextreme an, welche bei den verschiedenen Blättern konstatiert wurden.

Opuntia Rafinesquii	12,2—43,3
Mamillaria fulvispina	12,3—43,5
Sempervivum tectorum	13,0—49,6
Betula alba	15,0—28,3
Saxifraga crassifolia	12,8—35,9
Ulmus montana, Sonnenblatt	14,7—29,3
„ „ Schattenblatt innerhalb der Krone	16,7—26,8
Ulmus montana, Schattenblatt aussen an der Krone	13,2—24,7

[1] Ein geeignetes transportables Galvanometer stand mir nämlich nicht zur Verfügung.

[2] Ziemlich genau kann man die Lufttemperatur an einem isolierten Thermometer erhalten, wenn man die Kugel mit einer glänzend polierten Silberschicht überzieht (28, pg. 32).

Tabelle XIII.

Name	Zeit der Beobachtung	Blatt-tempe-ratur in ° C.	berusst Therm. in ° C.	blankes Therm. in ° C.	Boden-tempe-ratur in ° C.	Wind	Regen	Inso-lation	bewölkt	Tau
Opuntia Rafinesquii Engelm., alle Messungen beziehen sich auf denselben Sprossabschnitt	22. Aug., 3.h 20 p. m.	28,8	25,4	24,6	29,8	Spur	nein	ja	nein	nein
	7.h 45 p. m.	17,8	19,2	19,5	24,2	Spur	nein	nein	nein	nein
	23. Aug., 7.h 45 a. m.	12,2	18,1	15,5	15,2	Spur	nein	ja	nein	stark
	8.h 25 a. m.	14,3	19,0	16,8	15,3	schwach	nein	ja	nein	stark
	9.h 10 a. m.	24,3	22,8	19,8	16,3	Spur	nein	ja	nein	schwach
	9.h 50 a. m.	30,2	24,0	22,0	18,0	schwach	nein	ja	nein	nein
	10.h 50 a. m.	36,0	26,0	23,7	19,0	schwach	nein	ja	nein	nein
	2.h 25 p. m.	43,3	30,3	27,5	28,0	schwach	nein	ja	nein	nein
	3.h 05 p. m.	41,7	30,6	27,4	29,0	Spur	nein	ja	nein	nein
	4.h 10 p m.	38,6	31,0	28,0	29,7	schwach	nein	ja	nein	nein
	4.h 50 p. m.	35,5	31,0	28,1	30,0	Spur	nein	ja	nein	nein
	6.h 35 p. m.	23,3	22,8	—	27,7	Spur	nein	nein	nein	nein
	8.h 20 p. m.	16,8	17,7	—	25,0	Spur	nein	nein	nein	nein
	24. Aug., 12.h 15 a. m.	14,0	15,2	15,0	20,5	Spur	nein	nein	nein	zieml. stark
	5.h 20 a. m.	13,0	14,2	14,1	17,6	Spur	nein	nein	bedeckt	zieml. stark
Mamillaria fulvispina Salm-Dyck in Terrine; alle Messungen beziehen sich auf denselben Spross	22. Aug., 3.h 30 p. m.	33,9	29,0	26,4	31,9	Spur	nein	ja	nein	nein
	7.h 55 p. m.	20,3	19,5	19,6	20,2	Spur	nein	nein	nein	nein
	23. Aug., 7 h 55 a. m.	12,8	18,3	16,0	15,0	Spur	nein	ja	nein	zieml. stark
	8.h 30 a. m.	17,7	19,8	17,4	20,7	Spur	nein	ja	nein	zieml. stark
	9.h 15 a. m.	23,7	23,0	20,3	27,1	schwach	nein	ja	nein	nein
	9.h 55 a. m.	28,3	25,3	22,3	30,8	schwach	nein	ja	nein	nein
	10.h 55 a. m.	32,7	26,0	23,5	28,6	schwach	nein	ja	nein	nein
	2.h 35 p. m.	43,3	30,1	27,0	34,3	schwach	nein	ja	nein	nein
	3.h 25 p. m.	43,5	32,3	28,0	35,0	schwach	nein	ja	nein	nein
	4.h 15 p. m.	42,8	31,1	28,0	34,6	schwach	nein	ja	nein	nein
	4.h 55 p. m.	41,5	29,7	27,3	34,1	Spur	nein	ja	nein	nein
	6.h 40 p. m.	28,4	22,7	—	28,0	Spur	nein	nein	nein	nein
	8.h 30 p. m.	20,0	17,7	—	21,5	Spur	nein	nein	nein	nein
	24. Aug., 12.h 20 a. m.	14,0	15,0	15,0	15,7	Spur	nein	nein	nein	schwach
	5.h 25 a. m.	12,3	14,2	14,1	13,2	Spur	nein	nein	bedeckt	zieml. stark
Sempervivum tectorum L.	22. Aug., 3.h 40 p. m.	42,2	28,3	25,6	27,3	Spur	nein	ja	nein	nein
	8.h 00 p. m.	16,7	18,8	18,8	23,6	Spur	nein	nein	nein	nein
	23. Aug., 8.h 00 a. m.	13,0	17,5	15,5	15,8	Spur	nein	ja	nein	zieml. stark
	8.h 40 a. m.	15,7	20,5	18,0	16,5	Spur	nein	ja	nein	Spur
	9.h 20 a. m.	20,1	22,5	20,0	17,8	Spur	nein	ja	nein	nein
	10.h 05 a. m.	25,6	26,2	23,5	19,0	schwach	nein	ja	nein	nein
	11.h 05 a. m.	33,0	27,2	24,2	20,0	schwach	nein	ja	nein	nein
	2.h 40 p. m.	49,6	30,3	27,1	26,7	schwach	nein	ja	nein	nein
	3.h 35 p. m.	49,3	30,2	27,6	27,3	Spur	nein	ja	nein	nein
	4.h 20 p. m.	48,5	31,9	28,3	27,8	Spur	nein	ja	nein	nein
	5.h 00 p. m.	45,8	30,3	27,4	27,7	Spur	nein	ja	nein	nein
	6.h 45 p. m.	26,4	22,5	—	26,7	Spur	nein	nein	nein	nein
	8.h 40 p. m.	17,2	17,3	—	23,8	Spur	nein	nein	nein	nein
	24. Aug., 12.h 35 a. m.	13,5	14,8	14,9	20,0	Spur	nein	nein	nein	zieml. stark
	5.h 35 a. m.	13,0	13,7	13,8	17,6	Spur	nein	nein	bedeckt	zieml. stark
Betula alba L. alle Messungen beziehen sich auf dasselbe Blatt	22. Aug., 3.h 55 p. m.	24,0	30,3	26,4	25,5	Spur	nein	ja	nein	nein
	8.h 30 p. m.	20,5	16,7	17,0	21,7	Spur	nein	nein	nein	nein
	23. Aug., 8.h 15 a. m.	18,6	19,7	16,6	16,3	Spur	nein	ja	nein	schwach
	8.h 55 a. m.	19,5	21,5	18,5	17,5	Spur	nein	ja	nein	nein

Name	Zeit der Beobachtung	Blatttemperatur in ° C.	berusst. Therm. in ° C.	blankes Therm. in ° C.	Bodentemperatur in ° C.	Wind	Regen	Insolation	bewölkt	Tau
	9.h 40 a. m.	21,2	25,5	21,5	19,0	Spur	nein	ja	nein	nein
	10.h 15 a. m.	25,7	26,2	23,4	20,3	Spur	nein	ja	nein	nein
	11.h 15 a. m.	27,0	27,1	24,7	22,7	Spur	nein	ja	nein	nein
	2.h 55 p. m.	28,3	32,0	28,3	28,0	Spur	nein	ja	nein	nein
	3.h 45 p. m.	28,2	31,3	27,7	28,0	Spur	nein	ja	nein	nein
	4.h 40 p. m.	28,0	30,3	27,3	27,5	Spur	nein	ja	nein	nein
	5.h 15 p. m.	27,5	30,0	27,1	26,7	Spur	nein	ja	nein	nein
	6.h 55 p. m.	24,2	22,1	—	25,0	Spur	nein	nein	nein	nein
	8.h 55 p. m.	21,7	17,8	—	23,1	Spur	nein	nein	nein	nein
	24. Aug., 1.h 05 a. m.	18,7	14,7	14,7	20,0	Spur	nein	nein	nein	nein
	5.h 45 a m.	15,0	13,7	13,8	18,0	Spur	nein	nein	bedeckt	nein
Saxifraga crassifolia L.,	22. Aug., 4.h 05 p. m.	29,3	30,2	27,3	19,0	Spur	nein	ja	nein	nein
alle Messungen beziehen	8.h 15 p. m.	19,6	18,6	18,6	19,2	Spur	nein	nein	nein	nein
sich auf dasselbe Blatt;	23. Aug., 8.h 10 a. m.	19,2	18,2	15,8	16,5	Spur	nein	ja	nein	sehr stark
die Bodentemp. wurden	8.h 45 a m.	21,8	21,4	18,4	16,7	Spur	nein	ja	nein	schwach
im Schatten des Blatt-	9.h 30 a. m.	25,3	24,0	21,0	17,0	Spur	nein	ja	nein	nein
büschels bestimmt	10.h 10 a. m	26,1	25,3	22,8	17,3	schwach	nein	ja	nein	nein
	11.h 10 a. m.	29,8	27,0	24,0	17,5	schwach	nein	ja	nein	nein
	2.h 45 p m	33,8	31,5	26,8	19,2	schwach	nein	ja	nein	nein
	3.h 40 p. m.	35,1	30,4	28,1	19,6	Spur	nein	ja	nein	nein
	4.h 30 p m.	35,9	30,2	27,8	19,7	Spur	nein	ja	nein	nein
	5.h 10 p. m	31,3	29,6	27,3	20,0	Spur	nein	ja	nein	nein
	6.h 50 p. m	24,0	22,4	—	20,0	Spur	nein	nein	nein	nein
	8.h 45 p. m.	16,7	17,4	—	19,8	Spur	nein	nein	nein	stark
	24. Aug., 12.h 55 a. m.	14,3	14,7	14,7	18,8	Spur	nein	nein	nein	sehr stark
	5.h 40 a. m.	12,8	13,7	13,8	17,6	Spur	nein	nein	bedeckt	sehr stark
Ulmus montana pendula	22. Aug., 4.h 35 p. m.	20,7	28,0	25,1	22,3	Spur	nein	ja	nein	nein
With., Sonnenblatt	9.h 00 p. m.	16,3	14,9	15,0	19,2	Spur	nein	nein	nein	nein
	24. Aug., 10.h 00 a. m.	24,4	26,9	23,7	20,0	Spur	nein	ja	nein	nein
	11.h 00 a. m.	25,0	27,4	24,6	21,4	Spur	nein	ja	nein	nein
	1.h 20 p. m.	29,3	30,7	28,7	24,4	Spur	nein	ja	nein	nein
	1.h 35 p. m.	28,2	30,7	28,2	24,5	Spur	nein	ja	nein	nein
	4.h 00 p. m.	26,7	30,7	28,3	23,6	Spur	nein	ja	nein	nein
	25. Aug., 5.h 30 a. m.	14,7	14,0	13,8	17,8	Spur	nein	nein	bedeckt	nein
Ulmus montana pendula	22. Aug., 4.h 45 p. m.	23,3	24,0	23,5	22,2	nein	nein	nein	nein	nein
With., Schattenblatt,	9.h 10 p. m.	17,2	15,5	15,5	19,1	nein	nein	nein	nein	nein
innerhalb der Krone.	24. Aug., 10.h 45 a. m.	22,3	21,4	23,3	21,0	nein	nein	nein	nein	nein
Das berusste und das	11.h 05 a. m.	23,2	24,0	23,4	21,5	nein	nein	nein	nein	nein
blanke Therm. befanden	1.h 25 p. m.	26,2	26,0	25,3	24,3	nein	nein	nein	nein	nein
sich innerhalb der Krone	1.h 40 p m.	26,8	27,6	26,6	24,5	nein	nein	nein	nein	nein
	4.h 05 p. m.	26,7	26,7	26,4	23,5	nein	nein	nein	nein	nein
	25. Aug., 5.h 40 a m.	16,7	14,2	14,0	17,7	nein	nein	nein	bedeckt	nein
Ulmus montana pendula	22. Aug., 4.h 55 p. m.	20,8	23,5	23,3	22,1	Spur	nein	nein	nein	nein
With., Schattenblatt,	9.h 25 p. m.	13,2	14,5	14,7	18,8	Spur	nein	nein	nein	nein
aussen an der Krone.	24. Aug., 10.h 55 a m.	20,7	23,4	22,9	21,2	Spur	nein	nein	nein	nein
Das berusste und das	11.h 15 a. m.	22,7	24,5	23,7	21,5	Spur	nein	nein	nein	nein
blanke Therm. befanden	1.h 30 p. m.	23,2	26,5	25,8	24,5	schwach	nein	nein	nein	nein
sich im Schatten ausser-	1.h 45 p. m.	23,4	26,8	26,2	24,5	schwach	nein	nein	nein	nein
halb der Krone	4.h 10 p. m.	24,7	26,7	26,2	23,5	schwach	nein	nein	nein	nein
	25. Aug., 5.h 45 a. m.	16,2	13,9	13,9	17,7	Spur	nein	nein	bedeckt	nein

Tabelle XIV.

1901 August	Mnt.	Vormittag 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Mtg.	Nachmittag 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Mnt.
21.	16.4	15.4	14.4	14 2	13.6	13.0	13.2	13.2	14.2	15.4	16.4	17.8	19,2	20.2	20.8	20.8	20.4	19.2	18.2	16.7	15.6	14.6	13.8	13,2	12.4
22.	12.4	11.8	11.4	11.6	11,4	10.8	11.4	11.4	12.4	14.2	15.4	17,8	19,2	20.4	21.4	22.2	22.4	22.2	20.4	20.0	18,8	16.4	15.8	15,2	14.2
23.	14.2	12.6	12.4	11.6	11.4	11,2	11.4	13.2	15.6	18 8	20.4	21.2	21.6	22.8	23.2	24.0	24,2	23.8	22,4	20.4	18.2	16.6	16.6	15.2	14.4
24.	14.4	13.4	13.0	12.6	12.4	12.4	13.0	16.0	17.4	19,4	20.6	23.4	24.6	25.6	26.0	26.8	26.8	25.8	25.2	22.8	22.0	20.4	19.0	18.6	17.4
25.	17.4	16.6	15.8	15.8	15.2	15.0	15.4	15.4	16.4	19.2	20.6	21.8	23.6	24.2	24.8	25.4	25.2	25.0	24.0	23.0	21.6	20.8	19.6	19,4	18.6

Die Temperaturschwankungen insolierter Blätter im Verlauf eines Tages sind somit recht bedeutend. Bei fleischigen Blättern liegen die Extreme bis um 36,6° auseinander. Die geringsten Differenzen weisen Blätter auf, die im Verhältnis zum Gewicht eine sehr grosse Oberfläche haben und mit reichlichen Luftmengen in Berührung kommen. Dies ist am ehesten bei Baumblättern der Fall, die in einer lichten Krone weit auseinanderstehen. Bei *Betula alba* sind diese Bedingungen erfüllt und die Blätter zudem noch leicht beweglich. Die Extreme liegen hier nur um 13,3° auseinander, bei *Ulmus* schon etwas mehr, um 14,6°. Die *Saxifraga*-Blattbüschel stunden am Boden und waren sowohl hiedurch als auch wegen der dichteren Stellung vor Luftströmungen und der dadurch bedingten Abkühlung geschützt; sie zeigen daher auch stärkere Erwärmung. Die höchsten Temperaturen weisen die Fettpflanzen auf, bei denen ja die Reduktion der Oberfläche ausserordentlich stark ausgeprägt ist. Dass die Schattenblätter geringer erwärmt werden als die Sonnenblätter, ist ohne weiteres verständlich; auffallend ist nur der geringe Unterschied der oberen Grenze bei Sonnen- und Schattenblättern derselben Species. Man hat aber zu bedenken, dass die entsprechenden Ablesungen des berussten Thermometers ebenfalls nur um wenige Grade differieren. Alle 3 untersuchten *Ulmus*blätter befanden sich eben an demselben Baume, dessen Krone für die Wärmestrahlung nicht undurchdringlich war. Ich zweifle nicht, dass die Blätter einer im vollen Strahlungsschatten stehenden Ulme geringere Maxima würden gezeigt haben.

Um den Temperaturgang besser vergleichen zu können, habe ich die graphische Darstellung angewendet, Taf. IX. Auf der Abszissenachse ist die Beobachtungszeit, auf der Ordinatenachse die entsprechende Temperatur abgetragen. Die gestrichelten Kurven beziehen sich auf Blätter oder Sprosse. Zum Vergleich wurden noch die bei *Betula alba* gemessenen Bodentemperaturen (Kurve · — · — · —), die Lufttemperaturen (Kurve ·····) und die Temperaturen des berussten Thermometers angegeben (Kurve ———). Die succulenten Pflanzen sind hier an den hoch aufsteigenden Kurven sofort kenntlich. Es liegt aber nicht nur ihr Maximum höher als das der Nichtsucculenten, sondern auch das Minimum tiefer, — gewiss ein überraschendes Resultat. Auf den letztern Punkt werden wir bei der Taubildung zurückkommen. Die Temperatur fleischiger Blätter steigt sogar bedeutend höher als die des berussten Thermometers und sinkt auch tiefer. Die geringsten Schwankungen zeigt die Lufttemperatur. Die Maxima in Boden, Blatt und Luft liegen zwischen 2—5^h p. m., die Minima zwischen 4 und 8^h a. m. Die Kurven fleischiger Blätter steigen steil an bis zum Maximum und fallen schnell ab bis zu Anbruch der Nacht, von da an sinkt die Temperatur ganz allmählich weiter bis zum Minimum. Auch die übrigen Blätter, das berusste Thermometer und in geringerem Grade selbst die Luft erwärmen sich bei der ersten Strahlung am Morgen ausserordentlich rasch; da aber alle Maxima ungefähr um dieselbe Zeit erreicht werden, so flachen sich diese Kurven bald ab und schreiten langsam ihrem höchsten Punkte zu.

Wir gehen jetzt über zur Besprechung der Faktoren, von deren Wirkungen die Blatttemperatur abhängig ist. Was die Schwimm- und besonders die submersen Blätter betrifft, so wird ihre Temperatur wohl nur geringe Schwankungen erleiden, da die Temperaturextreme einigermassen grösserer Gewässer sehr klein sind und die tägliche Wärmeschwankung an der Oberfläche der Seen in mittleren Breiten im Durchschnitt während des Sommers kaum 2—3° beträgt (28, pg. 59).

C. Faktoren, von denen die Temperatur abhängt.

1. Strahlung und Leitung.

Für die Temperatur der Blätter, insbesondere für die Temperaturschwankungen ist die Strahlung in erster Linie von Bedeutung. Durch Leitung erhält das Blatt Wärme entweder aus der Luft, — bei Wasserpflanzen bezw. aus dem Wasser —, oder aus dem Boden durch Vermittlung der Sprossachse. Die Leitungsfähigkeit der Luft ist bekanntlich eine sehr geringe. Bezogen auf Silber = 100 erhält man für Wasser ungefähr = 0,12 und Luft ungefähr = 0,004, woraus folgt, dass die Luft auf die Pflanzen nur äusserst wenig Wärme wird übertragen können. Über die Leitungsfähigkeit des Bodens habe ich keine Angaben gefunden. Die Leitungsfähigkeit der Sprossachse ist gering, denn sie besteht der Hauptsache nach entweder aus dem schlechtleitenden Wasser oder aus dem noch schlechter leitenden Holz. Das Leitungsvermögen von Kiefernholz bezogen auf Silber = 100 ist 0,027 in der Längsrichtung und 0,008 in Richtung des Radius (65); weitere Angaben finden sich bei Less (59, pg. 517).

a. Intensität der Strahlung.

Es ist ohne weiteres einzusehen, dass — ceteris paribus — mit Zunahme der Strahlungsintensität auch die Temperatur des Blattes wachsen muss. Es wird daher, unter sonst gleichen Umständen, dasselbe Blatt an stärker bestrahlten Orten eine höhere Temperatur annehmen müssen als an Orten schwächerer Strahlung. Dies gibt uns einige Fingerzeige für die Blatttemperatur in verschiedenen Breiten und verschiedenen Höhen, für den Fall, dass alle übrigen Bedingungen dieselben bleiben.

A. Angot (1, 28, pg. 41) hat Berechnungen angestellt über die verschiedenen Breiten zukommende Strahlung, unter Annahme einer Solarkonstante von 3 Kalorien und eines mittleren Transmissionskoëfficienten 0,6; die Bewölkung wurde ferner = 0 vorausgesetzt. Die Einheit für die folgenden Wärmemengen ist jene Wärme, welche der Äquator bei mittlerer Sonnenferne und der Deklination 0° (Äquinoktien) erhält. In Kalorien ist dieselbe = 458,4 × 3 = 1375,2 Gramm-Kalorien. Die folgende Tabelle gibt die berechneten Wärmemengen für die einzelnen Monate und für das ganze Jahr.

Breite	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
80 ° N	0.0	0.0	0.2	2.7	7.5	10.3	8.5	3.8	0.5	0.0	0.0	0.0	33.5
60	0.1	1.0	3.9	8.2	12.0	13.8	12.6	9.2	4.9	1.5	0.2	0.0	67.4
40	3.3	5.7	9.4	12.9	15.3	16.2	15.6	13.5	10.2	6.6	3.8	2.7	115.2
20	9.0	11.2	13.6	15.2	15.8	15.9	15.8	15.3	14.0	11.7	9.4	8.2	155.1
Äqu	14.0	14.9	15.3	14.6	13.5	12.8	13.1	14.2	15.0	15.0	14.2	13.6	170.2
20 ° S	16.8	15.9	13.9	11.2	8.8	7.7	8.3	10.5	13.1	15.3	16.6	17.0	155.1
40	16.6	13.9	9.9	6.0	3.4	2.4	3.0	5.2	8.8	12.8	15.9	17.3	115.2
60	13.4	9.2	4.4	1.3	0.1	0.0	0.1	0.8	3.4	7.8	12.3	14.6	67.4
80	8.8	3.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.3	7.4	11.0	33.5

In Arabien, Mesopotamien, Sahara, Pendschab, Arizona, Inneres von Kalifornien, Inneres von Australien hat man bis 50° C Lufttemperatur beobachtet (28, pg. 103).

Die folgende Tabelle gibt die durchschnittlichen Temperaturen der Parallelkreise für das ganze Jahr und für die extremen Monate Januar und Juli, gesondert für die nördliche (N) und die südliche (S) Erdhälfte. (Börnstein, Wetterkunde pg. 12).

Geogr. Breite	Jahr N	Jahr S	Januar N	Januar S	Juli N	Juli S
0°	25,9°	25,9°	26,2°	26,2°	25,5°	25,5°
10	26,4	25,0	25,7	25,9	26,7	24,0
20	25,6	22,7	21,7	25,5	28,1	20,5
30	20,3	18,5	13,9	22,6	27,4	15,3
40	14,0	11,8	3,9	16,1	23,8	9,7
50	5,6	5,9	— 7,2	—8,1	18,1	3,2
60	— 0,8	0,2	—16,0	—	14,1	—
70	— 9,9	—4,9	—25,5	—	7,3	—
80	—16,5	—8,4	—32,0	—	2,6	—
90	—20,0	—9,3	—36,0	—	2,0	—

Aus den angeführten Zahlen ist zu entnehmen, dass in geringeren Breiten die Blätter Temperaturen aushalten müssen, die bedeutend stärker sind und auch länger dauern.

Bei einigen *Sempervivum*-Arten konnte ich übrigens noch bedeutend höhere Temperaturen feststellen als bei *Sempervivum tectorum*. So fand ich am 25. August im Basler botanischen Garten mit Hilfe eines andern, sehr genauen Thermometers, dessen cylindrisches Gefäss zwischen die Blätter der Blattrosette gesteckt wurde:

Sempervivum Reginae Amaliae hort.

3.h 00	51.5° C	3.h 30	52.0° C
3.h 15	51.8° C	3.h 40	51.1° C

Zwischen 3h 15 und 3h 45 wurden noch folgende Temperaturen gemessen:

Sempervivum rupicolum Kern.	50.5° C
„ *globiferum* L.	45.5
„ *calcareum* Jord.	48.0
„ *montanum* L.	45.5
„ *Mettenianum* Schnittsp. et Lehm.	45.5

Alle Semperviven waren gleich exponiert, sie stunden in Terrinen am Fusse einer kleinen, in N.S-Richtung verlaufenden Zementmauer. Sie hatten durch diese starken Erwärmungen keinen Schaden gelitten.

Die Temperaturen im Innern der Blätter waren zweifelsohne noch höher; dafür sprechen die folgenden Messungen, bei welchen von 2 gut übereinstimmenden Thermometern, das eine in ein Exemplar von *Mamillaria multiceps* Salm-Dyck, das andere zwischen 3 dicht aneinanderstossende, benachbarte Exemplare gesteckt wurde.

Zwischen 2 Exemplaren	In Exemplar	Zeit	Thermometer in Luft berusst	Thermometer in Luft blank
43,2° C	44,0° C	1.h 10 p. m.	31.0° C	28.4° C
43,4	44,5	1. 15	31.1	28.7
44,7	46,1	2. 15	31.7	28.6
44,8	46,4	2. 30	30.5	28.1
44,8	45,7	3. 00	31.5	29.0
44,4	45,3	3. 15	31.5	28.8
43,0	44,0	4. 00	31.5	28.8
21,5	21,3	8. 00	20.0	22.5
14,7	14,7	6. 00 a. m.	14.3	15.5

Schon Askenasy hatte an *Sempervivum alpinum* 52° C gemessen, ohne irgend welche nachteilige Folgen konstatieren zu können. Er vermutet aber, dass die von Gärtnern als „Verbrennung" bezeichnete Erscheinung auf zu starke Erwärmung zurückzuführen sei. Das Verbrennen soll besonders bei Aroideen, doch auch bei Agaven u. a. beobachtet worden sein, wenn Pflanzen aus dem Gewächshaus unmittelbar ins Freie kommen und starker Sonnenhitze ausgesetzt werden; es besteht in dem Absterben, Vertrocknen und Braunwerden ganzer Blätter oder Blattteile.

Wenn also schon in unsern Breiten bei succulenten Blättern Temperaturen von 52° keine Seltenheit sind, so steht zu erwarten, dass in Gegenden mit höherer Lufttemperatur und intensiverer Strahlung noch weit stärkere Erwärmungen vorkommen. Es ist auch anzunehmen, dass von jenen Blättern die höheren Temperaturen ebenso schadlos ertragen werden wie von unsern Semperviven. Die schadlose Ertragung solch hoher Temperaturen ist um so auffallender, als wir es hier mit äusserst wasserreichen saftigen Blättern zu tun haben.

Diese Temperaturbestimmungen zeigen uns deutlich, dass die obere Temperaturgrenze bei vielen Pflanzen weit höher liegt als man nach den diesbezüglichen Untersuchungen von de Vries (126), Sachs (96, hier die übrige Literatur) und andern glauben sollte. Nach Sachs genügte eine Lufttemperatur von ca. 51° C, um die Versuchspflanzen in Zeiträumen von 10—30 Min. zu töten; in Wasser reichten schon 45—46° C binnen 10 Min. aus. Sachs nimmt an, dass für längere Zeiträume die höchsten erträglichen Temperaturen für die genannten Pflanzen um viele Grade niedriger liegen, „es ist fraglich, ob irgend eine derselben in Luft oder Wasser von 40° C vegetieren könnte." Sachs hat zu seinen Versuchen aber keine Fettpflanzen verwendet. Es steht übrigens noch dahin, ob dieselben solche Lufttemperaturen aushalten. Über diesen letzten Punkt sagen die Messungen von Askenasy und von mir direkt nichts aus, denn die Art der Erwärmung war bei Sachs eine ganz andere und es ist nicht unmöglich, dass eine Pflanze eine durch Besonnung erlangte Temperatur von 50° C gut erträgt, in einer Luftatmosphäre von 50° C dagegen Schaden leidet.[1]

Die Zunahme der Strahlung mit der vertikalen Erhebung über die Erdoberfläche ist vorauszusehen, da die Diathermansie der Luft den Wechsel der Intensität der Strahlung bei veränderter Höhenlage bedingt. In höheren und daher trockeneren und reineren Schichten der Atmosphäre muss der Prozentsatz der von derselben absorbierten Strahlen ein geringerer sein. Experimentelle Untersuchungen hat K. Angström (3) auf Teneriffa angestellt; aus denselben geht zugleich auch die Abhängigkeit der Strahlung von der Sonnenhöhe hervor.

Sonnenhöhe	10°	20°	40°	60°	80°
Intensität in 350 m ü. Meer	0,79	1,05	1,27	1,35	1,39
„ „ 3500 „ „ „	1,16	1,38	1,54	1,59	1,62

Aus weiteren Messungen geht hervor, dass die Zunahme der Strahlungsintensität für 3,3 km Erhebung

bei 10° Sonnenhöhe 50%
„ 30° „ 25%
„ 80° „ 6% beträgt.

Infolge der grösseren Intensität der Sonnenstrahlung auf Berggipfeln schien es mir von Interesse, einige Blatttemperaturen an höher gelegenen Punkten zu bestimmen. Ich nahm daher auf einigen Bergtouren die zu den übrigen Messungen verwendeten Thermometer mit. Leider zeigte sich das Wetter für mein Vorhaben nicht günstig, da der Himmel meist bedeckt war; ferner mangelte es auch an richtigem Untersuchungsmaterial. Einige Bestimmungen konnten auf der Säntisspitze gemacht werden. Die erste Messung nahm ich am 31. Aug. 4h 20 p. m. vor an einer Blattrosette auf der Südseite der Säntisspitze.[2] Die Rosette war den ganzen Tag über den Sonnenstrahlen bei völlig klarem Himmel ausgesetzt gewesen. Es wurden folgende Temperaturen gefunden:

[1] Was die untere Temperaturgrenze betrifft, so ergaben die Beobachtungen Göpperts, dass alpine *Saxifraga*-Arten bei Aussentemperaturen von — 20 ° bis — 25 ° nicht getötet werden.

[2] Ich versäumte leider den Namen der betreffenden Pflanze zu notieren, so viel ich mich erinnere, handelte es sich um *Saxifraga Aizoon*.

Blattrosette	18 °
Thermometer berusst	9,3°
„ blank	9,4°
Boden	11,3° (10 cm unter der Oberfläche)

Es sei noch bemerkt, dass zur Zeit der Ablesung ein ziemlich starker Wind wehte. Kurz darauf bewölkte sich der Himmel. Es wurden noch die folgenden Ablesungen gemacht, bei welchen das Thermometer einfach zwischen die betr. Blätter hineingesteckt wurde.

Name	Zeit	Blatt-temp.	Thermometer berusst	Thermometer blank	Boden-temp.	Wind	Regen	Insolation	bewölkt	Tau
Alsine verna Bartl.	31. Aug. 7.h 00 p. m.	7,2	6,0	6,2	11,0	stark	nein	nein	ja	nein
	1. Sept. 5.h 15 a. m.	4,3	5,7	5,5	5,5	„	„	„	„	„
Saxifraga varians Sieb.	31. Aug. 7.h 20 p. m.	5,3	5,6	5,7	9,9	„	„	„	„	„
	1. Sept. 5.h 35 a. m.	4,5	5,2	5,2	4,4	„	„	„	„	„
Saxifraga oppositifolia L.	31. Aug. 7.h 10 p. m.	6,7	5,6	5,7	10,3	„	„	„	„	„
	1. Sept. 5.h 25 a. m.	4,8	5,2	5,2	5,1	„	„	„	„	„

Die Windgeschwindigkeit betrug während der Nacht bis 80 km pro Stunde. Am 1. Sept. wurde das Wetter so schlecht, dass keine Beobachtung mehr gemacht werden konnte.

Wenn es mir nicht möglich war, den Verlauf der Blatt- und Bodentemperatur längere Zeit hindurch zu verfolgen, so scheint mir doch die äusserst geringe Bodentemperatur mit ziemlicher Sicherheit dafür zu sprechen, dass höhere Temperaturen als die im botanischen Garten beobachteten nicht vorkommen werden, ja es ist sogar wahrscheinlich, dass trotz der stärkeren Insolation die Erwärmung bedeutend schwächer ist. Ich erinnere nur daran, dass sogar *Betula*-Blätter um ungefähr dieselbe Tageszeit am 23. Aug. im botanischen Garten 28,0° hatten und dass das Minimum aller abgelesenen Bodentemperaturen in Basel 13,2° betrug, das Maximum dagegen 35° C. Diese Erscheinung ist übrigens wohl verständlich, wenn man auch die übrigen Faktoren, welche auf die Temperatur einwirken, berücksichtigt. Mit der Höhe nimmt allerdings die Intensität der Sonnenstrahlung zu, zugleich wächst aber auch die Wärmeausstrahlung und die Folge dieser beiden Faktoren ist eine Temperaturerniedrigung, welche im Mittel 1° pro 180 m Erhebung beträgt. Der Bestandteil der Atmosphäre, welcher am wenigsten für Wärmestrahlen diatherman ist, nimmt mit der Höhe und der Abnahme der Temperatur rasch ab. Auf dem Säntis ist ferner die Luftbewegung eine fast stetige; die am Boden erwärmte Luft wird infolgedessen rasch weggeweht und durch kältere ersetzt. Bei den Blättern kommt ferner noch die gesteigerte Transpiration hinzu, welche ebenfalls eine Verminderung der Temperatur hervorruft.

Ob den Dämpfen ätherischer Öle, in der Mächtigkeit und Dichte, wie sie sich bei Pflanzen finden, faktisch eine Bedeutung als Wärme absorbierende Substanz zukommt, ist ungewiss.

b. Einfallswinkel.

Es ist bekannt, dass die Bestrahlung einer Fläche d. h. die Wärmemenge, welche auf die Einheit der Fläche fällt, dem Cosinus des Einfallswinkels proportional ist. Je schiefer somit ein Blatt zur Richtung der Sonnenstrahlen steht, um so geringer wird es, unter sonst gleichen Umständen, erwärmt. Rein physikalisch betrachtet kommt somit der Senkrechtstellung von Blättern (einen speziellen Fall bildet die Hängelage) entschieden schon von diesem Standpunkt aus, eine Bedeutung zu. Inwiefern dieser Punkt biologisch von Wichtigkeit ist, darüber gehen die Ansichten heutzutage noch auseinander (109, 43).

2. Reflexionsvermögen.

Nach den Untersuchungen von Maquenne, die aber noch sehr der Erweiterung und Ergänzung bedürfen, beträgt die reflektierte Wärmemenge ca. 25% der auffallenden. Da die Temperatur des Blattes von seinem Reflexionsvermögen natürlich in hohem Grade abhängig sein muss, weil alle re-

flektierten Strahlen nicht absorbiert werden und daher auch keine Erwärmung hervorbringen können, so sollte vor allem der Einfluss von Behaarung, Wachsüberzügen etc. und der Zusammenhang zwischen Einfallswinkel und Reflexionsvermögen einem eingehenden Studium unterworfen werden. Zu bestimmen wäre hiebei in erster Linie die gesamte reflektierte Wärmemenge, welche also sowohl die diffus als die regelmässig zurückgeworfenen Strahlen einschliesst.

3. Absorptions- und Emissionsvermögen.

Nach Kirchhoff (45) 1861 ist die Emission einer bestimmten Wellenlänge durch einen Körper proportional der Absorption derselben Wellenlänge bei gleicher Temperatur. In Formeln $\frac{E}{A} =$ konst.; wo die Konstante nur von Temperatur und Wellenlänge abhängt.

Je grösser das Absorptionsvermögen eines Blattes ist, um so stärker wird es auch — ceteris paribus — am Tag erwärmt, um so stärker kühlt es sich aber auch während der Nacht ab. Absorption und Emission sind abhängig von der Farbe und der übrigen physikalischen Beschaffenheit des Körpers. Der grosse Einfluss, den die Bewölkung auf die Emission ausübt, wird später besprochen werden, das Gleiche gilt für die übrigen mit der Taubildung im Zusammenhang stehenden Faktoren.

Nach Maquenne absorbieren die von ihm untersuchten Blätter ca. 50—70% der von einer Bourbouzelampe kommenden Strahlen; von schwächeren Wärmequellen wird weit mehr absorbiert. Den Blättern wird hauptsächlich von der Sonne und dann auch von dem Boden durch Strahlung Wärme zugeführt. Während von der Sonnenstrahlung nur ein relativ kleiner, bis jetzt nicht näher bestimmter Bruchteil absorbiert wird, darf angenommen werden, dass von der weniger intensiven Bodenstrahlung ein weit höherer Prozentsatz aufgenommen wird. Über den Einfluss der Behaarung auf die Temperatur liegen noch keine Untersuchungen vor, dass jedoch eine Schutzwirkung vorhanden ist, wird meist ohne weiteres angenommen.

Farbe.

Auch die Färbung des Blattes ist für seine Temperatur von Bedeutung; von Abweichungen von der grünen Farbe ist vor allem die Rotfärbung von Wichtigkeit. Über das Vorkommen des roten Farbstoffes sehe man Pick (87), Engelmann (14), Morren (78), Hassack (34), Stahl (110). Es sind schon verschiedene Versuche gemacht worden, die biologische Bedeutung der Rotfärbung zu ergründen, genaue Untersuchungen stammen jedoch erst aus der letzten Zeit. Bevor ich zur Besprechug der physikalischen Bedeutung der Rotfärbung übergehe, sollen dem Vorkommen und der Entstehung des roten Farbstoffs einige Worte gewidmet werden.

Die Rotfärbung findet sich entweder zeitlebens oder nur in gewissen Altersstadien oder endlich sie tritt rythmisch in gewissen Vegetationsperioden auf, um wieder zu verschwinden, sobald eine andere Periode beginnt.

Zeitlebens rot ist eine grosse Zahl von Blättern. Auch hier lassen sich wieder verschiedene Fälle unterscheiden. Es können Ober- und Unterseite oder nur die eine von beiden gleichmässig rot gefärbt sein oder aber der Farbstoff bildet nur grössere oder kleinere, mehr oder weniger zahlreiche Flecken, die ebenfalls auf beiden Blattseiten sich finden oder auf die eine lokalisiert sein können.

In der Jugend zeigen häufig zarte Blätter eine Rotfärbung, die sich mit zunehmendem Alter verliert.

Allgemein bekannt ist ferner die herbstliche Rotfärbung, die ebenfalls, wie bei den vorhin genannten Arten der Färbung auf gewisse Pflanzen beschränkt ist und an geographisch verschieden gelegenen Punkten nicht dieselbe Intensität zeigt. Die Farbenpracht ist am grössten in der nördlichen gemässigten Zone. Bei weitem länger, als in den mitteleuropäischen Waldlandschaften dauert die herbstliche Verfärbung des Laubes im nordamerikanischen Waldgebiet, das sich vom Lorenzstrome und den kanadischen Seen bis hinab zu beiden Seiten des Alleghanygebirges nach Virginien und Kentucky er-

streckt. Noch viel grossartiger als in der Ebene ist die herbstliche Rotfärbung in den Alpen. Über die Entstehung derselben hat Overton (84) Beobachtungen und Versuche angestellt und gefunden, dass bei einer grossen Zahl von Pflanzen, welche zu den verschiedensten Familien der Monocotyledonen und Dicotyledonen gehören, das Auftreten von rotem Zellsaft in enger Beziehung zum Zuckerreichtum des Zellsaftes steht. Da aber die Blätter vieler Pflanzen z. B. diejenigen der Coniferen sich nicht rot färben, trotzdem sie im Herbst und Winter ebenfalls zuckerreich sind, so kann der Zuckerreichtum des Zellsaftes im günstigsten Falle nur einer der Faktoren sein, welche bei der Rotfärbung eine Rolle spielen. Auf den Zuckergehalt und daher auch auf die Rotfärbung üben Temperatur und Lichtintensität einen Einfluss aus, der auch experimentell nachgewiesen wurde. Müller-Thurgau (83) hatte schon gezeigt, dass bei Temperaturen unter 5° C ein Teil der Stärke der Kartoffeln in Zucker umgewandelt wird und A. Fischer (16) wies nach, dass in den Stärkebäumen im Herbst infolge der niedern Temperatur die meiste Stärke in Zucker umgewandelt wird, der durch Erhöhung der Temperatur schon innerhalb weniger Stunden wieder teilweise in Stärke rückverwandelt werden kann. Dieselbe Erscheinung hat Lidforss (60) für wintergrüne Blätter nachgewiesen. Seit Sachs ist ferner bekannt, dass niedrige Nachttemperaturen die Ableitung der Assimilationsprodukte aus dem Blatt stark verzögern. Nach den Untersuchungen Overtons ist die Annahme gerechtfertigt, dass wenigstens bei einem Teil jener Pflanzen, deren Blätter über den Winter am Leben bleiben und während dieser Jahreszeit eine rote Farbe annehmen, die Rotfärbung keine weitere Änderungen in dem physiologischen Zustande der betreffenden Blätter verlangt, als eine durch die niedrige Temperatur verursachte Vermehrung des Zuckergehaltes der Blätter auf Kosten ihrer Stärke. Niedrige Temperatur begünstigt das Eintreten der Rotfärbung, so dass dieselbe bei sonst gleichen äussern Bedingungen um so seltener wird und um so weniger intensiv eintritt, je höher die Temperatur ist; wenigstens gilt dies bis zu Temperaturen gegen 30° C. Diese Beziehung zwischen Temperatur und Rotfärbung erklärt die Tatsache, dass auch während des Sommers in den Alpen die Blätter viel häufiger eine rötliche Färbung annehmen als in der Ebene. Bezüglich des Einflusses des Lichtes wurde für *Hydrocharis* u. a. durch zahlreiche Versuche festgestellt, dass intensives Licht und hohe Temperatur, in Bezug auf das Eintreten einer roten Färbung einander entgegengesetzte Wirkungen ausüben, so zwar, dass je höher die Temperatur, um so grösser die Lichtintensität sein muss, damit eine Rotfärbung der Palissaden überhaupt zustande kommt, während je niedriger die Temperatur (wenigstens bis zu ca. 8° C hinunter) ein um so schwächeres Licht noch ausreicht, um diese Rotfärbung hervorzurufen.

Die Wärme ist aber nicht nur für die herbstliche Rotfärbung von Bedeutung, sondern es übt auch umgekehrt die Rotfärbung und zwar nicht nur die herbstliche, sondern die rote Farbe überhaupt einen Einfluss aus auf die Absorption der Wärmestrahlen und daher auch auf die Temperatur des Blattes.

Nach Melloni hat die Farbe keinen Einfluss auf die Absorption der dunkeln Wärme (118, pg. 368)[1] dagegen sprechen jedoch Versuche Stahls mit dem Leslie'schen Würfel, auf die später eingegangen werden wird. Für eine leuchtende Wärmequelle (Argandlampe) hat aber schon Melloni (76) die Abhängigkeit der Diathermansie von der Farbe nachgewiesen. Als Untersuchungsobjekt dienten ihm verschieden gefärbte Gläser. Dunkelviolettes und rotes Glas liess am meisten Strahlen durch; für die übrigen Farben war ein bestimmter Zusammenhang zwischen Farbenqualität und Diathermansie nicht zu ermitteln, da die Intensität der Färbung von grossem Gewicht war. Franz (18) hat mit einem Argandbrenner als Wärmequelle weitere Untersuchungen angestellt über den Zusammenhang zwischen der Farbe und der Diathermansie; er fand, dass im allgemeinen diejenigen Flüssigkeiten, welche das Rot des Spektrums hindurchlassen, am meisten diatherman sind und dass die Diathermansie gegen Violett hin abnimmt. Es ist jedoch nicht möglich, aus diesen Versuchen einen sichern Schluss zu ziehen auf den Einfluss der Farbe. Hiezu wäre es nicht nur erforderlich, verschieden gefärbte Lösungen gleicher Konzentration zu verwenden, deren qualitatives Absorptionsvermögen spektralanalytisch bestimmt wurde; brauchbare Resultate sind nur dann zu erhalten, wenn die Färbung in allen Lösungen

[1] Die betreffende Abhandlung Mellonis ist mir nicht bekannt.

gleich stark ist, d. h. wenn die Intensität des durchgelassenen Lichtes in allen Lösungen dieselbe ist. Zur Vergleichung der Intensität verschieden gefärbten Lichtes sind die gewöhnlichen Photometer nicht brauchbar, da die Schätzung der Helligkeitsgleichheit verschieden gefärbter Photometerfelder äusserst schwer fällt. Es wurden zu diesem Zwecke besondere Photometer konstruiert, welche den genannten Übelstand auf verschiedene Weise zu beseitigen versuchen. (Näheres 137, 2,1, pg. 467). Gleich konzentrierte Lösungen erlauben deshalb keinen Vergleich, weil für verschiedene Farbstoffe das Färbungsvermögen ein sehr verschiedenes ist. Zum Studium des Farbeneinflusses sind ferner solche verschieden färbende Stoffe zu verwenden, deren Lösungen chemisch möglichst wenig differieren, da auf die Absorption nicht nur die physikalischen Eigenschaften, sondern auch die chemische Zusammensetzung von Bedeutung sind. Aus den Versuchen von Franz geht immerhin hervor, dass die Diathermansie sowohl von der optischen Qualität als auch von der Quantität des aufgelösten Farbstoffs abhängt, und zwar nimmt sie bei stärker konzentrierten Lösungen bedeutend ab. Hieraus können wir einen indirekten Schluss auf die Erwärmung ziehen, da diese — ceteris paribus — mit Zunahme der Diathermansie abnehmen muss. Es wird also, unter sonst gleichen Umständen ein schwach rotes Blatt eine tiefere Temperatur besitzen müssen als ein sonst gleich beschaffenes, das mehr von demselben roten Farbstoff enthält.

Bei der Diskussion der Bedeutung der Farbe ist ferner in Betracht zu ziehen, dass die Wärmeintensität für verschiedene Stellen des Sonnenspektrums verschieden ist. Nach Bolometermessungen von Langley (56) ist die Intensität der Wärmestrahlung am stärksten im Rot und fällt gegen Violett hin sehr schnell ab, im ultraroten Teil aber nur langsam.

Wellenlänge	0,40	0,47	0,53	0,58	0,60	0,65	0,75	0,77
Farbe	violett	blau	grün	gelb	orange	rot	dunkelrot	
Wärmeeffekt	5,3	14,1	19,3	21,7	21,9	22,2	20,7	20,2

Ein Blatt, das die roten Strahlen absorbiert, wird sich also unter sonst gleichen Umständen stärker erwärmen, als ein solches, das die blauen absorbiert, weil die roten Strahlen eben mehr Wärme enthalten als die blauen.

Aus Versuchen von Flammarion (17) geht hervor, dass von den vier benützten Glassorten das weisse am wenigsten, das blaue am meisten Strahlen absorbierte.[1] Kny (50) hatte übrigens schon früher nachgewiesen, dass die Temperaturerhöhung von Blättern hinter einer blauen Flüssigkeit (schwefelsaures Kupferoxyd-Ammoniak) geringer war als hinter einer orangefarbigen (Kaliumbichromat).

Ein rein rotes Blatt lässt nur die roten Strahlen, ein rein grünes nur die grünen Strahlen durch. Da die roten Strahlen mehr Wärme führen als die grünen, so wird auch unter sonst gleichen Bedingungen das rote Blatt weniger stark erwärmt, als das grüne. In der Natur finden sich weder rein rote noch rein grüne Blätter. Ein grünes, nur chlorophyllhaltiges Blatt absorbiert nun eine gewisse Wärmemenge, bringt man in dasselbe Blatt noch Erythrophyll, so muss die Absorption steigen und zwar gerade um den Betrag, welchen das Erythrophyll verschluckt. Aus diesem Grunde werden wir bei einem grünen und einem roten Blatt, die sich nur dadurch voneinander unterscheiden, dass das rote bei gleichem Chlorophyllgehalt noch roten Farbstoff führt, das rote Blatt a priori höher temperiert voraus-

[1] Es wurden 4 Warmhäuser, das eine mit blauem, das andere mit rotem, das dritte mit grünem, das vierte mit gewöhnlichem (Da in dem Ref. später nur noch von „weissem" Glas die Rede ist, so wird es sich wohl nicht um gewöhnliches, farbloses Glas handeln. Näheres über die Natur dieses „weissen" Glases ist nicht angegeben) Glas dicht neben einander, bei gleichen meteorologischen Verhältnissen, errichtet und das dazu verwendete Glas einer sorgfältigen spektroskopischen Prüfung unterzogen. Die Temperatur war am höchsten in dem mit weissem Glas bedeckten Haus, dann folgten das rote, das grüne und das blaue Haus; in dem letzteren fand sich die niedrigste Temperatur. An wolkigen Tagen und wenn die Sonnenstrahlen nicht direkt einfielen, wurde überall dieselbe Temperatur beobachtet. Die Höhe der Versuchspflanzen betrug nach 3 Monaten: Blau 0,027 m, weiss 0,1 m, grün 0,152 m und rot 0,42 m. Das schwache Wachstum der lichtempfindlichen Pflanzen im weissen Treibhaus wird auf die Wirkung des übermässigen Lichtes und der Temperatur zurückgeführt. Die Blätter unter rotem Glas waren lichter gefärbt als die unter weissem, diese waren wieder bleicher als die Blätter unter grünem, unter dem blauen Glase war die Färbung am dunkelsten. Die Intensität der Färbung nahm also in dem Grade ab, als sich die Temperatur erhöhte. Die purpurroten Blätter von *Alternanthera amoena* wurden unter rotem Glas ganz grün.

setzen dürfen. Ist aber im roten Blatt weniger Chlorophyll enthalten, so kommt es eben ganz auf das Verhältnis an, in dem diese beiden Farbstoffe stehen und es wird unter Umständen das rote Blatt auch eine geringere Temperatur aufweisen können als das grüne. Wo die Absorption eine so grosse ist wie bei den Untersuchungen Engelmanns (14), bei welchen oft mehr als die Hälfte des zugestrahlten Lichtes beim Passieren der roten Zellen verloren geht, kann natürlich eine stärkere Erwärmung nicht ausbleiben. Wieder anders liegen die Dinge in den Fällen, in welchen das Blatt durch eine vorübergehende Rotfärbung der Chlorophyllkörner eine Farbenänderung erfährt. (Molisch, Ber. d. D. B. G. 1902, pg. 442).

Weiter hat man zu berücksichtigen, dass auch durch Umwandlung des absorbierten Lichtes in Wärme die Temperatur gesteigert werden kann. Die absorbierten Lichtstrahlen werden im Blatt in Wärme und in chemische Energie umgewandelt. Diese Umwandlung in Wärme geht nun, wie Kny (50) nachgewiesen hat, in den roten Blattvarietäten intensiver vor sich als in den entsprechenden grünen Blättern. Die zu den Versuchen verwendeten Sonnenstrahlen wurden durch Passieren einer Alaunlösung der Wärmestrahlen beraubt. Die leuchtenden Strahlen liess Kny auf 2 gleich beschaffene Glasgefässe fallen, von denen das eine mit grünen Blättern, das andere mit einem gleichen Quantum von Blättern der roten Varietät gefüllt war. Die Temperatur wurde mittelst eines zwischen die Blätter gesteckten Thermometers gemessen. Bei der Mehrzahl der untersuchten Blätter zeigte die rote Varietät höhere Temperatur — im Maximum 4° C — als das grüne Blatt, so bei *Fagus silvatica*, *Corylus avellana*, *Berberis vulgaris*, *Acer platanoides*, *Brassica oleracea*; abweichend verhielten sich *Canna indica* und *Dracaena ferrea;* dunkelrot gefärbte Blätter von *Canna* wurden stärker erwärmt als grüne, mässig rote weniger stark. Bei *Dracaena* war in der ersten Zeit der Bestrahlung die Temperatur der grünen Blätter, später die der roten, höher.

Über das Verhalten des Blattrots zur Sonnenstrahlung hat Kny (nach Stahl 110, pg. 151) Versuche angestellt. Von zwei gleichen Gefässen, die gleiche Wassermengen enthielten, wurden in das eine grüne Blätter, in das andere eine gleiche Zahl Blätter einer tief roten Varietät gebracht. Schon kurze Zeit nach der Besonnung war die Temperatur in dem Gefäss mit den roten Blättern höher als in dem andern. Stahl (110) wiederholte diese Versuche mit verschiedenen Modifikationen, er verwendete unter anderm auch den aus rotblättrigen Begonien direkt ausgepressten roten Saft. Eine ernstliche Untersuchung wurde jedoch noch nicht vorgenommen. Um zu einem physikalischen Verständnis der genannten Erscheinung zu gelangen, wäre es vor allem notwendig, spektralphotometrische Untersuchungen des durchgestrahlten Lichtes vorzunehmen. Nach Stahl kann durch Anlegen der Thermometerkugel an vorher besonnte rote und grüne Blattteile leicht ein Wärmeüberschuss für die roten Partien festgestellt werden. Zahlen werden keine mitgeteilt.

Keeble (43) hat gefunden, dass ein Thermometer, das der Ober- und Unterseite von besonnten grünen und roten Blättchen von *Amherstia nobilis* angeschmiegt wurde, für die Oberseite des roten Blattes 1° höher zeigte als für die Oberseite des grünen, für die Unterseite des roten dagegen 1° tiefer als für die des grünen. Keeble zieht hieraus den Schluss, dass die Oberseite des roten Blattes mehr Wärme reflektiert als die des grünen und dass die grüne Spreite mehr Wärme absorbiert als die rote. Die Versuchsresultate scheinen mir erklärbar zu sein, ohne dass es nötig ist, eine solch abenteuerliche und durch nichts erwiesene Behauptung von dem stärkeren Reflexionsvermögen der roten Blätter aufzustellen. In Bezug auf die Blatttemperatur schliesse ich aus den von Keeble angeführten Beobachtungen gerade das Gegenteil. Betrachten wir zunächst das auf die Oberseite des besonnten Blattes gelegte Thermometer. Dasselbe wird vorzüglich auf 2 Arten Wärme erhalten, durch Strahlung von der Sonne und durch Leitung vom Blatte. Da die Strahlung der Sonne beim roten und grünen Blatt dieselbe ist, das Thermometer für das rote Blatt aber höher zeigt, so deutet dies auf eine höhere Temperatur der Oberseite des roten Blattes, ein Resultat, das mit den Versuchen von Kny und Stahl völlig übereinstimmt. Die Tatsache, dass auf der Blattunterseite das Thermometer beim roten Blatt niedriger stund als beim grünen scheint mir durch 2 Faktoren bedingt sein zu können. Einmal ist die Diathermansie des roten Blattes kleiner als die des grünen, weil eben seine Absorption grösser ist (von einer Umwand-

lung von Licht in Wärme wird hiebei allerdings abgesehen). Aus diesem Grunde treffen mehr Wärmestrahlen der Sonne auf das Thermometer hinter dem grünen Blatt und es ist nicht ausgeschlossen, dass schon dies allein ausreichen kann, die besagte Temperaturdifferenz zu erzeugen. Es sagt uns aber ferner der Kirchhoff'sche Satz, dass das rote Blatt, welches stärker absorbiert auch stärker emittieren muss; die Ausstrahlung auf der Unterseite des roten Blattes wird also stärker sein als beim grünen und wenn nicht in demselben Grade Wärme zugeführt werden kann, eine niedere Temperatur der Unterseite bedingen. Das Blatt ist nun aber bekanntlich ein schlechter Wärmeleiter und wird daher sehr wohl an verschiedenen Stellen verschiedene Temperaturen besitzen können.

Weitaus die genauesten und sorgfältigsten Versuche über die Abhängigkeit der Blatttemperatur von der Farbe hat Stahl angestellt (110). Methode und Untersuchungsmaterial wurden äusserst glücklich gewählt. Die untersuchten roten und grünen Stellen befanden sich nämlich nicht wie bei Keeble, Kny und Stahls früheren Versuchen an verschiedenen Blättern, sondern an derselben Spreite; dies wurde ermöglicht durch die Verwendung rotgefleckter Blätter. Wurde auf die Unterseite einer solchen Spreite ein erwärmtes Gemenge von Kakaobutter und etwas Bienenwachs in gleichmässig dicker Schicht aufgetragen und nach der Erkaltung die Oberseite den Sonnenstrahlen ausgesetzt oder in die Nähe eines Leslie'schen Würfels mit heissem Wasser gehalten, so trat stärkere Erweichung unter den roten Bezirken ein; so bei *Vriesea hieroglyphica, Begonia heracleifolia var. nigricans* und *Aeschynanthus marmoratus.*

Eine weitere Reihe von Versuchen wurde von Stahl nach einer andern Methode gemacht. Die beiden Lötstellen eines Thermoelementes aus Neusilber und Kupfer waren zu 2 flachen Spatelchen zugespitzt und wurden in grüne bezw. rote Stellen etwas succulenter Blätter eingebohrt.[1] Die Thermoströme wurden mit einem Spiegelgalvanometer gemessen. Der Wert der Skalenteile in Celsiusgraden wurde festgestellt durch Eintauchen der Nadeln in Gefässe mit Alkohol, dessen Temperatur durch Thermometer bestimmt worden war. Als Wärmequelle diente eine Gasflamme in Schmetterlingsform, die in einer Entfernung von ca. 30 cm von dem senkrecht zur Oberseite beschienenen Blatt angebracht war. Die zu untersuchenden Blätter befanden sich hinter einer grossen, durchlöcherten, die direkte Bestrahlung des Apparats verhindernden Torfplatte. „Nachdem die Galvanometernadel zur Ruhe gekommen war, wurde ein vor der Öffnung der Torfplatte vorher angebrachter Schirm entfernt, so dass die Blätter der Gasflamme ausgesetzt waren. Die nunmehr eintretende Verschiebung der Skala wurde notiert, der Schirm wieder eingeschoben, der Ruhepunkt der zurückgehenden Nadel gemerkt." Ich führe ferner den Gang des Versuchs mit Blättern von *Sempervivum tectorum*, der etwas ausführlicher beschrieben ist, an. Die eine Nadel wurde in den roten obern, die andere in den grünen Teil eines Blattes eingestochen. „In Zwischenräumen von je 1 Min. wiederholte Ablesungen ergaben für die 3 ersten Minuten eine ungefähr gleichmässige Zunahme der Differenz. Nach etwa 6 Min. war ein Maximum erreicht, welches auch ferner, nach 10 weitern Minuten annähernd beibehalten war. Eine in diesem, wie in andern ähnlichen Fällen eingetretene geringe Abnahme der Differenz ist wahrscheinlich auf den partiellen Ausgleich zwischen wärmeren und kühleren Stellen durch direkte Leitung der Wärme innerhalb der Blattsubstanz zurückzuführen."

Eine den Sonnenstrahlen ausgesetzte Thermonadel wird in der Luft entschieden eine höhere Temperatur annehmen als die sie umgebende Luft. Dies ist möglich, weil die Luft diatherman und ein schlechter Wärmeleiter ist. Auch das Blatt ist diatherman und ein schlechter Wärmeleiter, beides zwar in geringerem Grade als die Luft. Aus diesem Grunde ist es nicht unwahrscheinlich, dass in Stahls Versuchen Nadel- und Blatttemperaturen nicht identisch waren. Bedeutend weniger steht dies für die Kakaobutter zu befürchten, da ihr Absorptionsvermögen lange nicht demjenigen der Thermonadel gleichkommen wird. Um zuverlässige Zahlen zu erhalten, ist es daher notwendig, ähnliche Temperaturbestimmungen nach einer Methode vorzunehmen, welche die eben genannte Wirkung der strahlenden Wärme mit Sicherheit ausschliesst.

[1] Die Thermonadeln sind in solchen Fällen mit Firnis zu umgeben, da sonst galvanische Ströme entstehen, welche das Resultat trüben können. Ob Stahl diese Vorsichtsmassregel angewendet hat, ist nicht angegeben.

Die maximale von Stahl zwischen einem grünen und einem roten Bezirk gemessene Temperaturdifferenz betrug 1,67° für die Gasflamme als Wärmequelle *(Sempervivum tectorum)*; 1,9° für einen auf 5 cm genäherten Leslie'schen Würfel mit kochendem Wasser *(Aeschynanthus)*. In Bezug auf den Einfluss der Natur der Wärmequelle sei hier nur bemerkt, dass die Diathermansie mit der Stärke der Strahlung zunimmt, und dass daher der Gegensatz der Temperatur zwischen der diathermanen Blattsubstanz und der athermanen Nadel um so stärker ausfallen muss, je grösser die Intensität der Strahlung ist.

Stahl gibt ferner an, dass an den Stellen, an welchen die Kakaobutter zuerst schmolz, dieselbe auch wieder zuerst erstarrte, wenn das Blatt der direkten Bestrahlung entzogen wurde. Es entspricht also der stärkeren Absorption auch eine stärkere Emission.

Entgegengesetzt wie die rotfleckigen Blätter verhalten sich die grau- oder silberfleckigen. Hier besitzen nach Stahl die grauen Stellen eine geringere Temperatur als die grünen, was auf die als Isolator wirkende Luftschicht zurückgeführt wird. Die Bezeichnung „Isolator" wird man wohl besser vermeiden. Die Luft ist bekanntlich ein Isolator für Wärmeleitung nicht aber für Wärmestrahlung. In dem gegebenen Fall haben wir es mit strahlender Wärme zu tun. Eine Luftschicht im Blatte kann nicht verhindern, dass die darunter liegenden Teile erwärmt werden; sie werden sich im Gegenteil stärker erwärmen müssen, als wenn die Luft durch Blattzellen ersetzt wäre. Die geringere Erwärmung der grauen Stellen scheint mir auf ihrer grössern Diathermansie oder auf Totalreflexion zu beruhen. Die maximale beobachtete Differenz betrug 1,21° *(Cypripedium Lawrenceanum)*. Auch die Experimente mit Kakaobutter ergeben für die grünen Stellen eine höhere Temperatur und bei Aufhebung der Wärmestrahlung eine schnellere Abkühlung. Bei der Abkühlung dürfte allerdings die Luft im eigentlichen Sinne als Isolator gewirkt haben.

Nach Stahl besitzt die Pflanze in dem wärmeabsorbierenden Blattrot ein Mittel, die Stoff- und Kraftwechselprozesse zu beschleunigen. Er glaubt, dass die Temperaturdifferenzen verschieden gefärbter Zellen um mehrere Grade grösser sein werden als die experimentell gefundenen Unterschiede. Einmal ist die Wärmequelle in der Natur, die Sonne, viel intensiver und dann wurden in den Versuchen nicht die Unterschiede zwischen roten und grünen Zellen erhalten, sondern die Unterschiede zwischen Geweben, von denen das eine unter anderm auch rote Zellen enthielt. Nach den Versuchen von Sachs (97) wird die Auswanderung der Assimilate aus den Blättern durch niedere Temperatur verlangsamt, womit fernerhin eine Verminderung der Assimilation verbunden ist (Sachs 97, Saposchnikoff 102). Die Rotfärbung arbeitet diesen Nachteilen entgegen, sie entlastet die Assimilationsorgane und steigert zugleich durch Erhöhung der Transpiration die Zuleitung von Baustoffen. Alles auf Grund der stärkeren Absorption der Wärmestrahlen.

Kerner (44, I, pg. 379) fand, dass in dem alpinen Versuchsgarten am Blaser in Tirol (2195 m) die Pflanzen der Ebene am kräftigsten wuchsen, welche eine rote Färbung angenommen hatten. So gedieh die sich rötende *Satureja hortensis* gut, *Linum usitatissimum* nicht, was Stahl auf die obige Weise zu erklären geneigt ist, ohne jedoch die gleichzeitige Wirkung anderer Faktoren in Abrede zu stellen. Stahl hat zudem noch durch Kulturversuche in Pontresina nachgewiesen, dass nach klaren Nächten die Blätter von *Linum usitatissimum* morgens noch voller Stärke waren, während die Blätter von *Satureja*-Keimlingen keine Stärke mehr enthielten.

Stahl vermutet auch, dass ein vergleichendes Studium der herbstlichen Verfärbung der Laubblätter unter Berücksichtigung von Standort, Klima und Zeit des Eintretens der Verfärbung etc. einen interessanten Beitrag zu der eben behandelten Frage liefern wird. Die starke herbstliche Rotfärbung der Alpenpflanzen und der Wälder des östlichen Nordamerika wird mit dem rauheren Herbst in Zusammenhang gebracht.

Nach von Hayek (35) steht auch die dunkle Färbung des Hüllkelches vieler alpiner Kompositen mit thermischen Verhältnissen in Beziehung, indem sie dazu dient, den jungen auszureifenden Früchten der so spät blühenden Alpenpflanzen strahlende Wärme zuzuführen. Es ist interessant, dass diejenigen dieser Kompositen, welche auch in der Ebene vorkommen, sei es in Parallelformen oder in andern Rassen oder Varietäten, diese Schwarzfärbung nicht zeigen. Das schönste Beispiel hiefür liefert

Centaurea Jacea. Bei der in heisseren Gegenden vorkommenden Unterart *C. bracteata* Scop. sind die Anhängsel der Involucra fast blasig aufgetrieben und weiss gefärbt, bei der *var. maiuscula* Rouy der Voralpen sind sie aber flach, fast schwarz gefärbt. Im ersteren Falle dienen dieselben offenbar als Schutz gegen die Austrocknung, im letztern Falle zur Aufsammlung von viel Wärme für die Ausreifung der Früchte.

4. Spezifische Wärme.

Hierüber liegen bis heute keine Versuche vor. Ungefähr wird sich dieselbe jedoch aus dem Wassergehalt des Blattes bestimmen lassen. Wir können den Wassergehalt saftiger Kräuter zu 70 bis 80%, bei Succulenten bis zu 85—95% annehmen. Das übrige wollen wir als Cellulose betrachten. Die spez. Wärme des Wassers ist bekanntlich = 1, diejenige von Holz schwankt zwischen 0,5 und 0,6 (42, pg. 182). Die spez. Wärme succulenter Blätter werden wir daher nahezu als 1 annehmen dürfen, diejenige wasserärmerer Blätter ist kleiner, wird aber wohl nicht unter 0,8 herabsinken. Aus der grossen spez. Wärme der Blätter sollte man auf geringe Temperaturänderungen schliessen. Dieser Schluss ist aber, wie wir gesehen haben, nicht berechtigt. Es wirken eben an der Temperatur noch andere Faktoren mit. So kommt es, dass die Temperaturschwankungen im Boden, der eine nur halb so grosse spez. Wärme besitzt, doch bedeutend geringer sind, während allerdings in grösseren Wassermassen die täglichen Temperaturänderungen geringfügig sind. Wir werden auf diesen Punkt bei der Taubildung nochmals zurückkommen.

5. Transpiration.

Die Transpiration führt auf doppelte Weise eine Abkühlung herbei; einmal durch Verlust der in dem verdunsteten Wasser enthaltenen Wärme und dann durch den Vorgang der Verdunstung selbst. Der transpirierte Wasserdampf besitzt natürlich eine höhere Temperatur als das aus dem Boden bezogene Wasser und je grösser diese Temperaturdifferenz ist, um so stärker ist auch die durch diesen Faktor bewirkte Abkühlung. Denken wir uns ferner eine bestimmte Menge, etwa 1 Liter Wasser von einer bestimmten Temperatur, z. B. 50° in einem offenen Gefäss, so enthält das Gefäss eine bestimmte Wärmemenge. Giessen wir die Hälfte Wasser aus, so ist immer noch Wasser von 50°, aber nur noch die Hälfte der vorigen Wärmemenge vorhanden; lassen wir dagegen bei Verhinderung jeglicher Wärmezufuhr und jeglicher Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung, die Hälfte des Wassers verdunsten, so besitzt die zurückbleibende Hälfte eine Temperatur unter 50°. Stellen wir nun durch Zugiessen von Wasser von 0° das ursprüngliche Wasservolum wieder her, so erhalten wir in dem ersten Fall 1 Liter Wasser von 25°, in dem zweiten Fall 1 Liter Wasser von tieferer Temperatur. Die Unterdrückung der Transpiration wird daher in doppeltem Sinne einer Abkühlung entgegenwirken, und es ist daher auch von diesem Gesichtspunkte aus das Schliessen der Spaltöffnungen während der Nacht von hohem Interesse, weil dadurch einer Temperaturerniedrigung der Blätter bedeutend entgegengearbeitet wird. Umgekehrt verhindert die Transpiration eine zu starke Erwärmung bei direkter Bestrahlung. Zuverlässige Bestimmungen über den Einfluss der Transpiration auf die Temperatur des Blattes stehen meines Wissens noch aus. Die Versuche von N. J. C. Müller (81, pg. 579) sind abgesehen von ihrer geringen Zahl auch methodisch unzureichend, weil die Transpiration auch bei den abgetrennten Blättern nicht völlig unterdrückt war und die Anfangstemperatur nicht angegeben ist. Durch Transpiration wird auch der umgebenden Luft Wärme entzogen, was nach Pfeffer (86, II, 1. Aufl., pg. 415) durch direkte Versuche verschiedentlich konstatiert wurde.

6. Gasaustausch.

Für die Temperaturverhältnisse spielt derselbe entschieden eine unbedeutende Rolle, da die Wärmemengen, welche die Gase mit sich führen, nur gering sind. Die Abgabe von O und CO_2 kann

daher dem Blatt nur relativ wenig Wärme entziehen, umgekehrt kann aber auch durch Aufnahme höher temprierten O und CO_2 die Temperatur nur unwesentlich gesteigert, durch die Aufnahme derselben niedriger temperierten Gase nur eine geringe Abkühlung erzielt werden.

7. Taubildung.

Sie ist bedingt durch innere und äussere Faktoren. Der innere Faktor liegt in der Leitungsfähigkeit und ganz besonders in der Wärmeemission der Blätter, als äussere Faktoren sind zu nennen die Feuchtigkeit der Atmosphäre und die Bewölkung. Wir wenden uns in erster Linie der Wärmeemission zu. Sie ist abhängig von der physikalischen Beschaffenheit der Blätter und der Atmosphäre.

Dass verschiedene Körper ein verschiedenes Emissionsvermögen besitzen, ist schon längst bekannt. Bereits 1846 hat Melloni nachgewiesen, dass ein Thermometer, dessen Kugel mit einer glänzenden Silberhülle umgeben war, fast keinen Wärmeverlust durch Strahlung erlitt, während ein gleiches Thermometer mit berusster Kugel unter denselben Umständen eine um 3,6° tiefere Temperatur anzeigte.

Über die nächtliche Erkaltung verschiedener Körper hat Glaisher (21) Beobachtungen angestellt. Die Unterschiede der Angaben eines geschützten und eines frei auf die untersuchten Körper gelegten Thermometers betrugen:

Kies	Stein	Flusssand	Gartenerde	kurzes Gras	langes Gras	Flachs auf Gras
1,3°	1,8°	2,1°	2,2°	4,1°	4,7°	5,7°

Die Metalle besitzen, wie schon Melloni angegeben hat (Pogg. Ann. 1847), das geringste Emissionsvermögen und bleiben daher auch trocken, während unter denselben äussern Bedingungen Laub, Holz, Glas, Firnis, Kienruss u. s. w. sich mit Tau beschlagen. Die Ausstrahlung von Wolle ist gross und kommt derjenigen von Kienruss nahe. Maquenne fand, dass für eine Blatttemperatur von ca. 40° bei einer Lufttemperatur zwischen 0° und 10° die Emissionsvermögen der verschiedenen Blätter nur wenig voneinander abweichen und der Emission des Russes sehr nahe kommen. Es ist ferner seit Melloni bekannt, dass eine rauhe Fläche stärker ausstrahlt als eine polierte. Hieraus folgt, dass ein Blatt mit rauher Oberfläche — ceteris paribus — mehr emittiert als ein solches mit glatter. Stark muss daher die Ausstrahlung einer behaarten Oberfläche sein. Hier kommt dann noch, wie Melloni (Pogg. Ann. Bd. 71, 1847, pg. 429) gezeigt hat, der Umstand hinzu, dass die erkaltete Luft in den Haaren festgehalten wird und nicht sofort, wie bei glatten Blättern infolge ihrer Schwere nach unten sinkt. Auf diese Weise erklärt Melloni seine Beobachtung, nach welcher die behaarten Blätter kälter waren als die glatten. Messungsresultate werden nirgends angeführt. Es ist übrigens wohl möglich, dass wegen der schlechten Wärmeleitung der Haare Temperaturdifferenzen bestehen zwischen den Haarspitzen und dem Blattgewebe, so dass man also nicht berechtigt ist, die eine Temperatur der andern einfach gleichzusetzen.

Wie aus der menschlichen Physiologie bekannt ist, strahlt eine gefirnisste Haut stärker aus als die gewöhnliche. Dies gibt uns einige Fingerzeige für die thermische Bedeutung der Wachsüberzüge. Es ist interessant, dass die Emission der stark exponierten Oberseite durch solche Mittel noch mehr gesteigert wird.

Über den Einfluss der Färbung auf die Emission stehen sich die kontrastierenden Behauptungen gegenüber. Nach Tyndall (118, pg. 364) zeigen die Seiten eines Leslie'schen Würfels, die der Reihe nach mit weisser, schwarzer (berusst) und roter Farbe bestrichen wurden, dieselbe Emission. Auch dann, wenn die Seiten mit weissem, rotem oder schwarzem Sammt überzogen wurden, veränderte sich das Ausstrahlungsvermögen nicht. „Diese Experimente zeigen, dass die Ausstrahlung der Kleider, welche den menschlichen Körper bedecken, unabhängig von ihrer Farbe ist; ebenso, wie die Farbe eines tierischen Pelzes auf die Ausstrahlung keinen Einfluss ausüben kann."

Diese Resultate, zu denen schon Melloni gekommen war, erleiden aber nach Tyndall (l. c. pg. 365) bei entscheidenderen und genaueren Versuchsmethoden eine Abänderung. Welcher Art dieselbe

sein soll, finde ich nirgends angegeben. Auf der andern Seite hat Stahl gefunden, dass die Kakaobutter an den roten Stellen eher fest wurde als an den grünen.

Die geringe Leitungsfähigkeit pflanzlicher Gewebe spielt insofern eine Rolle, als sie das Zuströmen von Wärme aus dem Boden verhindert.

Von grossem Einfluss auf die Ausstrahlung ist ferner die Bewölkung. Ich teile im folgenden einige von Hann (l. c., pg. 44) citierte Beobachtungen Glaishers mit. Bei der Bewölkung bedeutet 4 ganz trüb, 0 ganz heiter.

Nächtliche Erkaltung:

Grad der Bewölkung	4	3	2	1	0
Gartenerde	0,4°	1,1°	1,2°	1,6°	1,8°
Kurzes Gras	0,9	1,7	1,9	2,2	2,5
Langes Gras	1,1	2,1	2,3	2,6	2,9

Je höher die Wolkenschicht ist, um so weniger schützt sie gegen die nächtliche Ausstrahlung.

Wenn man bedenkt, dass Glaisher seine Untersuchungen in dem feuchten Klima Englands und fast im Meeresniveau angestellt hat, so steht mit Sicherheit zu erwarten, dass auf trockenen Hochebenen[1] die nächtliche Erkaltung viel stärker ist. Glaser sah in Arabien in 2000 m Seehöhe bei 8° Lufttemperatur in klaren Nächten sich Eis bilden und Meidinger schliesst aus Beobachtungen in Karlsruhe, dass bei ruhiger oder nur mässig bewegter Luft das Wasser (auch bei uns) bei 10° C Lufttemperatur gefrieren kann, wenn es im Freien der Wirkung ganz unbewölkten Himmels ohne Zufuhr von Sonnenwärme ausgesetzt ist (28).

Dass auch die Luftfeuchtigkeit ein wesentliches Moment bildet, liegt auf der Hand, und es ist klar, dass bei gleicher Ausstrahlung alle Umstände, welche die absolute aber zugleich auch die relative Feuchtigkeit der Luft erhöhen, die Stärke der Taubildung begünstigen müssen. Die Taubildung besteht ja einfach in einer Kondensation des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes.

Verschiedene Blätter sowohl, wie auch verschiedene Teile desselben Blattes verhalten sich nun bei der Taubildung sehr ungleich, was in erster Linie auf Unterschiede in der Ausstrahlung zurückzuführen ist. Rauhe und behaarte Blätter betauen sich stärker als glatte. Leider sind eingehende Untersuchungen hierüber nicht gemacht worden und auch über den Einfluss von Stellung zum Horizont und Farbe liegen nur wenige Beobachtungen vor. Die Behauptung von Schumacher (106, pg. 381), dass ein Blatt um so mehr Wärme ausstrahlt, je näher seine Stellung der Horizontalen kommt, mag vielleicht für Blätter in der Nähe des Bodens Geltung haben, ob das Gleiche auch für Baumblätter zutreffen wird, ist nicht ohne weiteres einzusehen und auch die Richtigkeit des Satzes für Bodenblätter ermangelt meines Wissens noch jeglicher experimentellen Bestätigung. Inwiefern die Schlafstellungen von diesem Gesichtspunkt aus Bedeutung haben, ist daher noch nicht präzis festzustellen. A priori kann man nur das hiebei oft stattfindende sich Aneinanderlegen der Blättchen oder Blattteile als wirksamen Schutz gegen Ausstrahlung ansehen.

Die Tautröpfchen finden sich besonders auf Haaren, Zähnen (hiebei hat man sich vor Verwechslungen mit Wasserausscheidungen zu hüten) und Blattrippen, als den stärker ausstrahlenden Teilen. Im allgemeinen werden die Blattränder kälter als die Spreitenfläche sein, was man besonders schön bei der Reifbildung beobachten kann. Der Blattrand ist dann oft weiss überzogen, während die übrige Spreite ihre gewöhnliche grüne Farbe zeigt.

Über die Menge des auf verschiedenen Blättern niedergeschlagenen Taues hat Sachs (98) einige Versuche angestellt. Die zu untersuchenden betauten Blätter wurden vor Sonnenaufgang abgeschnitten und sofort gewogen, hierauf Blatt und Wage abgetrocknet und das Gewicht des Blattes von neuem bestimmt; die Differenz entsprach der Menge Tau, welche auf dem Blatt niedergeschlagen gewesen war. Wurde die Taumenge auf die Gewichtseinheit der Blätter reduziert, so zeigte es sich, dass rauhe und behaarte Blätter bedeutend mehr Tau bilden als glatte. Es ist aber auffallend, dass ein

[1] Durch trockenen Boden und grosse Höhenlage wird die nächtliche Wärmeausstrahlung begünstigt.

dunkelgrünes Kirschblatt, trotzdem es glatt war, die stärkste Taubildung aufwies. Hiernach müsste der Färbung entschieden eine Bedeutung zukommen.

Von den Einflüssen des Taues auf die Pflanze haben wir hier nur seine Beziehung zur Blatttemperatur zu besprechen.

Es ist mit Sicherheit anzunehmen, dass die Temperaturerniedrigung während der Nacht bei Taubildung geringer ist als ohne dieselbe. Denn einmal strahlt ein betautes Blatt weniger Wärme aus und dann wird auch dem Blatte durch die Kondensation des auf ihm sich niederschlagenden Wasserdampfes Wärme mitgeteilt. Die Temperatur des Tautropfens muss anfänglich höher sein als die des Blattes, denn sonst könnte er sich gar nicht bilden. Übrigens werden auch im Innern der Pflanze Dampf-Kondensationen vor sich gehen, welche ebenfalls durch die frei werdende Wärme die Geschwindigkeit des Temperaturfalles verzögern.

Dass die Ausstrahlung eines betauten Blattes geringer ist als die eines unbetauten, hat Mayer (69) experimentell nachgewiesen. Das zu untersuchende Blatt wurde auf einen Leslie'schen Würfel geklebt, den man mit Eis füllte; es bildete sich auf dem Blatt in kurzer Zeit ein Tauüberzug. Die Temperatur des schmelzenden Eises wurde notiert und eine Thermosäule 5 Min. lang der Strahlung des Blattes ausgesetzt. Zur Messung des Stromes diente ein Thomson'sches Galvanometer. Hierauf füllte Mayer den Würfel mit Wasser, dessen Temperatur um so viel höher war als die des Zimmers, als bei dem vorigen Versuch das schmelzende Eis niedriger. Nach 5 Min. Bestrahlung wurde wieder abgelesen. Es zeigte sich auf diese Weise, dass der Taubeschlag die Ausstrahlung der Blätter auf $^2/_3$ reduziert.

Es wurde ferner von verschiedenen Beobachtern konstatiert, dass, sobald Taufall eingetreten ist, die Temperatur am Boden wenig oder gar nicht mehr sinkt; mit Blättern sind solche Versuche noch nicht angestellt worden.

Was die Abhängigkeit des Taues von Jahreszeit und Klima betrifft, so ist unter sonst gleichen Umständen der Tau im Sommer stärker als im Winter, in heissen feuchten Gegenden stärker als in kalten und trockenen. Auch in den Gebirgstälern tritt nach klaren Sommernächten, besonders wenn Regen vorausging reichlich Tau auf (28, pg. 247).

In bewölkten Nächten, hauptsächlich wenn die Wolken niedrig sind, kann der Tau ganz fehlen, ebenso bei trockener Luft und stärkeren, trockeneren Winden (28, pg. 246).

Bei meinem Aufenthalt auf dem Säntis konnte ich keine Taubildung wahrnehmen, was wohl in erster Linie dem heftigen Winde zuzuschreiben ist; dass aber auch die Trockenheit der Luft daran beteiligt gewesen sein wird, scheint mir daraus hervorzugehen, dass auch an einer Stelle, welche die ganze Nacht über künstlich vor dem Winde geschützt war, das Gras nicht die geringsten Spuren von Tau zeigte.

Zum Schlusse komme ich nochmals zurück auf die früher mitgeteilten Temperaturkurven. Auffallend ist dabei besonders, dass die fleischigen Blätter oder Sprosse, die sich bei Bestrahlung bedeutend stärker erwärmten als die nichtsucculenten Blätter, des Nachts sich auch stärker abkühlten. Die stärkere Erwärmung beruht wahrscheinlich auf der, durch die Reduktion der Oberfläche bedingten Verringerung der Transpiration eines bestimmten Blattgewichtes; auch wird in Betracht kommen, dass bei Succulenz durch Ausstrahlung und Luftströmungen weniger Wärme entzogen wird. Wenn aus diesen Gründen für die succulenten Blätter ein höheres Maximum auch a priori vermutet werden dürfte, so sollte man doch meinen, dass infolge des grossen Wassergehaltes fleischiger Blätter wenigstens das Ansteigen der Kurve langsamer erfolge, doch ist auch dies nicht der Fall. Wir dürfen hieraus wohl mit Recht auf eine grosse Bedeutung der Transpiration für die Temperatur des Blattes schliessen. Aus demselben Grunde wird man nun aber auch leicht geneigt sein, umgekehrt eine geringere nächtliche Abkühlung zu vermuten. Der Versuch zeigt das Gegenteil. Bei der Erklärung dieser Tatsache hat man zu bedenken, dass die Transpiration des Nachts bedeutend zurückgeht und somit keinen oder doch nur einen geringen Einfluss wird ausüben können. Der Unterschied zwischen den Temperaturminima des *Betula*-blattes und der succulenten Blätter beruht meiner Meinung nach weniger auf Eigenschaften des Blattes als auf der verschiedenen Lage der Blätter in Beziehung zum Boden.

Es hat schon Melloni (Pogg. Ann. Bd. 71, 1847) nachgewiesen, dass in Taunächten die Temperatur der Luft in der Nähe des Bodens am niedrigsten ist und nach oben hin zunimmt. Glaisher (21) macht folgende Angaben:

Boden in 2,5 cm Tiefe	Bodenoberfläche selbst	Temperaturdifferenz gegen die Angaben eines Thermometers in Beschirmung, Höhe über dem Rasen in cm									
		2,5	5	8	15	31	61	122	183	245	370
+ 1,0	— 0,9	— 3,1	— 2,7	— 2,2	— 1,3	— 0,6	— 0,4	— 0,3	— 0,2	— 0,1	0,0

Da nun die Luft in der Nähe des Bodens kälter ist, so wird sich auch ein Blatt, das sich nahe am Boden befindet, stärker abkühlen als ein gleiches Blatt in grösserer Entfernung vom Boden. Schon Melloni hat in der oben citierten Abhandlung (pg. 429) darauf hingewiesen, dass Kräuter und andere niedrige Pflanzen, welche Felder bedecken, vermöge der erkaltenden Wirkung der Luft, in ihrer Temperatur weit unter die der höheren Körper sinken. Mit der geringeren Temperaturerniedrigung der Baumblätter im Vergleich zu den Bodenblättern wird es auch zusammenhängen, dass, wie ich mich durch vielfache Beobachtungen überzeugt habe, die Betauung der Baumblätter viel schwächer ist als diejenige von Blättern in der Nähe des Bodens. So zeigen schon die diesbezüglichen Angaben in Tab. XIII, dass die Blätter von *Betula* und besonders von *Ulmus* trocken geblieben waren, während sich auf den dem Boden benachbarten Blättern und Sprossen ein reichlicher Taubeschlag gebildet hatte. Allerdings wird in vielen Fällen auch die trocknende Wirkung des Windes der Taubildung auf Baumblättern entgegenwirken.

Bei der Besprechung der mechanischen Eigenschaften war auch von dem kriechenden Wuchs der Alpenpflanzen die Rede. Kerner (44, I, pg. 510) bringt denselben mit der Tatsache in Verbindung, dass in der Hochalpenregion der Boden verhältnismässig viel wärmer ist als die Luft und dass durch dieses sich Anschmiegen die Pflanzen die höhere Wärme des Bodens sich zu Nutze machen.

III. Optische Eigenschaften.

A. Reflexion des Lichtes.

Ein auf irgend einen Körper fallender Lichtstrahl wird im allgemeinen teils reflektiert, teils absorbiert und teils durchgelassen.

Die Reflexion findet entweder nur an der Oberfläche statt, so bei den Metallen; bei den übrigen Körpern und so auch bei den Blättern findet ebenfalls Reflexion an der Oberfläche statt, aber nicht ausschliesslich nur an derselben, ein Teil des auffallenden Lichtes dringt nämlich in das Blatt ein, wird in der mannigfachsten Weise hin und her reflektiert und gebrochen, um endlich wieder in das Medium, aus dem er gekommen ist, zurückgeworfen zu werden. Bei diesen Kreuz- und Quergängen findet eine teilweise Absorption statt, welche gewisse Wellenlängen auslöscht und die bei diffus reflektiertem Licht sich zeigende Blattfarbe bedingt. Dieselbe ist, im Gegensatz zur Metallfarbe eine Absorptionserscheinung. Metallglanz ist bei Laubblättern keine häufige Erscheinung. Der einzige, der sich meines Wissens über seine Entstehung Rechenschaft zu geben suchte, ist Kny (51) bei seinen Untersuchungen an *Selaginella*-Arten. Er gelangte aber zu keinem befriedigenden Resultat. Kny schliesst aus seinen Versuchen, dass der beobachtete Metallglanz keine Fluoreszenzerscheinung ist; er glaubt, dass es sich um eine ähnliche Erscheinung handle wie bei den Newton'schen Farbenringen und den Farben der Seifenblasen. Falls es sich um Metallglanz handelt, so liegt es nun aber auf der Hand, dass wir es weder mit einer Fluoreszenz noch mit einer Interferenzerscheinung zu tun haben, sondern eben mit Metallreflexion.

An eigentlichen Untersuchungen über die andern Arten des Glanzes an Laubblättern fehlt es vollständig. Bei Luise Müller (80) finden sich Angaben über den Zusammenhang zwischen Glanz und Anatomie bei Blumenblättern.

Die Reflexion beim Blatt ist nun ferner entweder nur diffus oder z. T. regelmässig. Die regelmässig reflektierten Strahlen werden — ceteris paribus — um so zahlreicher, je glatter und glänzender die Oberfläche ist.

Die Intensität des gesamten reflektierten Lichtes hängt bei konstanter Stärke der Lichtquelle ab von dem Einfallswinkel und der Blattbeschaffenheit; dies ergibt eine einfache Überlegung. Welcher Art jedoch diese Abhängigkeit ist, kann nur auf experimentellem Wege ermittelt werden; doch fehlt es bis zur Stunde gänzlich an diesbezüglichen Untersuchungen. Einiges Wenige lässt sich voraussehen bezüglich der Abhängigkeit der Intensität der regelmässig reflektierten Strahlen von dem Einfallswinkel. Da wir es beim Blatt nicht mit Metall, sondern mit Glasreflexion zu tun haben, so muss eine solche Abhängigkeit tatsächlich bestehen.

Im Gegensatz hiezu ist die Abhängigkeit vom Einfallswinkel bei den Metallen sehr gering; schon bei senkrechtem Auffall werden 60% reflektiert.

Wie es sich mit den diffus reflektierten Strahlen verhält, ob ähnliche Beziehungen bestehen wie bei den Wärmestrahlen, hat die Zukunft zu zeigen.

Die wenigen bisherigen, vom Vierordt ausgeführten Intensitätsmessungen werden später mitgeteilt.

Nicht viel mehr als über die Quantität ist über die Qualität des von Blättern reflektierten Lichtes bekannt. Wir haben hier zu unterscheiden zwischen Polarisations- und Absorptionserscheinungen.

Untersuchungen über die Polarisation gibt es meines Wissens nicht, doch ist vorauszusehen, dass das regelmässig reflektierte Licht geradlinige Polarisation zeigen wird (— elliptische findet sich bekanntlich bei Metallreflexion —), während die diffus zurückgeworfenen Strahlen ohne seitliche Verschiedenheit sein werden. Sollte dennoch elliptische Polarisation vorkommen, so müsste dieselbe auf Totalreflexion beruhen.

Auf der bei der diffusen Reflexion stattfindenden Absorption beruht die Blattfarbe. Wenn es sich nun für irgend ein Blatt darum handelt, die eben genannte, auf teilweiser Absorption bei diffuser Reflexion beruhende Farbe zu analysieren, so wird man in der Regel das Spektrum des durchgehenden Lichtes untersuchen und das gefundene Resultat direkt auf die Zusammensetzung des reflektierten Lichtes übertragen. Diese Methode beruht auf der Überlegung, dass in beiden Fällen die Farbe durch teilweise Absorption in demselben Medium entstehe und daher auch gleich sein müsse. In der Mehrzahl der Fälle erhält man auf diese Weise gewiss ziemlich richtige Resultate, doch ist a priori leicht einzusehen, dass diese Methode nur zulässig ist, wenn die Blattdicke ein gewisses Maß nicht überschreitet, und wenn die obere und die untere Hälfte des Blattquerschnitts bezüglich der Färbung übereinstimmen. Ist z. B. die Epidermis der Unterseite rot gefärbt, so wird das von der Oberseite reflektierte Licht wohl nur zum geringsten Teil oder gar nicht bis zur untern Epidermis in das Blatt eingedrungen sein und wird daher auch eine andere Zusammensetzung zeigen müssen als das durchgegangene Licht. Aber selbst bei geringer Blattdicke und grüner Färbung auf Ober- und Unterseite zeigt, wie Vierordt (121) nachwies, das Absorptionsspektrum eine andere Zusammensetzung als das Reflexionsspektrum, und es ist somit die Behauptung Lommels (63), dass das von einem grünen Blatte zurückgestrahlte Licht notwendig dieselbe Zusammensetzung haben müsse wie das durch das Blatt durchgegangene, unrichtig.

Die ersten und bisher die einzigen Untersuchungen über die Intensität und Zusammensetzung des reflektierten Lichtes stammen von Vierordt (121, pg. 80); leider beziehen sie sich nur auf ein einziges Blatt *(Acer platanoides)*. Das Blatt wurde so gestellt, dass es sowohl mit der Richtung des einfallenden Sonnenlichtes als auch mit der Collimatorachse einen Winkel von 45° bildete. Alle Regionen des vom reflektierten Licht gebildeten Spektrums zeigten die deutlichsten Farbentöne; die Fraunhofer'schen Linien C, D, E, F und G und eine Anzahl Nebenlinien in Grün und Blau erscheinen in vollkommener Deutlichkeit.

Bezüglich der Quantität ergab sich, dass das Ahornblatt von dem unter einem Winkel von 45° auffallenden Sonnenlicht etwa $^1/_3$ mehr reflektiert als es senkrecht auffallendes Sonnenlicht durchgehen lässt. Man sehe auch pg. 94.

B. Absorption des Lichtes und Durchleuchtung.

Wenn bis jetzt das reflektierte Licht nur wenig beachtet wurde, so erfreute sich dafür das durchgehende einer um so gründlicheren Untersuchung.

Wir wenden uns in erster Linie den Bestimmungen der Intensität des durchgestrahten Lichtes zu.

Die Intensität des durchgelassenen Lichtes hängt ab von der Intensität und dem Einfallswinkel der auffallenden Strahlen, der Wellenlänge des Lichtes, der Dicke und Beschaffenheit des Blattes. Ein weiteres Moment, das ebenfalls sehr wesentlich ist und das meiner Ansicht nach zu wenig berücksichtigt wird, ist der Abstand, in dem die Lichtstärke gemessen wird. Wir wissen, dass parallel einfallende Wärmestrahlen dispergierend austreten, dasselbe muss für die Lichtstrahlen gelten, da sie den gleichen Brechungs- und Reflexionsgesetzen unterliegen.

Die erten diesbezüglichen Untersuchungen stammen von Sachs (99). Er setzte sich die Aufgabe, festzustellen wie tief das Licht in die Teile der lebenden Pflanze eindringt und welche Ver-

änderungen dabei das eindringende Licht in Bezug auf seine verschieden brechbaren und verschieden wirksamen Elemente erfährt. Zur Untersuchung diente das „Diaphanoskop". Dasselbe besteht aus 2 in einander verschiebbaren, geschwärzten Pappröhren, in deren geschlossenen Enden 2 kleine Öffnungen sind. Der zu untersuchende Gegenstand wird zwischen die beiden Öffnungen gebracht, das Instrument gegen eine Lichtquelle gehalten und das offene, zweckdienlich zugeschnittene Rohrende an das Auge gehalten. Sachs fand, dass mit Zunahme der Zahl der durchstrahlten Blätter die grüne Farbe des durchtretenden Lichtes in rot überging bis endlich alle Strahlen absorbiert wurden.

Um auf einfache Weise die Zusammensetzung des durchgehenden Lichtes ungefähr festzustellen, bediente sich Sachs des „analysierenden Diaphanoskops". Die Öffnung wird spaltförmig gemacht und in dem Rohr ein Prima angebracht. Sachs stellte mit Hilfe dieses Instrumentes fest, dass das durchgegangene Licht dasselbe Spektrum zeigt wie das Licht, welches eine Chlorophylllösung passiert hat.

Erwähnt sei auch an dieser Stelle ein einfacher von Stokes angegebener Apparat, den Sachs benützte, um pflanzliche Körper auf ihre Durchlässigkeit für ultraviolette Strahlen zu prüfen. Er besteht aus einem mit schwarzem Papier umwickelten Glascylinder. An einer Stelle ist aus dem schwarzem Überzug ein Spalt ausgeschnitten und das Glas bis etwas über den Spalt mit einer Lösung von schwefelsaurem Chinin gefüllt. Legt man das Auge dicht auf die obere Öffnung des Cylinders, während direktes Sonnenlicht durch den Spalt einfällt, so sieht man blaues Fluoreszenzlicht, das aber sofort verschwindet, wenn man ein Blatt vor den Spalt hält, weil eben das Blatt die wirksamen violetten und ultravioletten Strahlen absorbiert.

Die ersten Messungen führte Vierordt (121) aus mit Hilfe des von ihm erdachten Spektralphotometers. Die eine Hälfte des Spaltes eines Spektralapparates wird mit dem zu untersuchenden Körper bedeckt, die andere freigelassen. Man erhält so direkt übereinander das lichtschwächere Absorptionsspektrum und das Spektrum der Lichtquelle. Im Fernrohr ist ein Schieber angebracht, welcher erlaubt, das gesamte Spektrum mit Ausnahme des zu untersuchenden Bezirkes abzublenden. Mittelst einer weitern Vorrichtung wird die Öffnung der einen Spalthälfte so lange verändert, bis die Lichtstärken des betreffenden Bezirkes der beiden Spektren gleich sind. Aus dem Verhältnis der beiden Spaltweiten ergibt sich dann das Verhältnis der Lichtstärken des betreffenden Bezirkes der beiden Spektren.

Der Intensitätsverlust, den das Licht beim Durchgang durch ein Blatt erleidet, ist proportional der Stärke des auffallenden Lichtes, er ist ferner abhängig von der Wellenlänge des Lichtes, der Dicke und sonstigen Beschaffenheit des Blattes.

Die Versuchsresultate Vierordts sind in den 2 folgenden Tabellen enthalten. Dieselben zeigen, dass die untersuchten Blätter das durchdringende Licht auf $\frac{1}{1169} - \frac{1}{4774}$ abschwächen. Es ist gewiss auffallend, dass die beiden eben genannten Extreme sich bei 2 gleichdicken Blumenblättern finden. Die so bedeutend stärkere Absorption des roten Blumenblattes der Rose als die der übrigen Blätter muss notwendigerweise hauptsächlich auf dem Gehalt an rotem Farbstoff beruhen. Sehr bemerkenswert ist es ferner, dass sämtliche untersuchte Blätter ohne Ausnahme alle Lichtarten zwischen A und H durchlassen. Anders lautende Angaben früherer Beobachter sind den unvollkommenen Methoden zuzuschreiben. „Da die Gesamtlichtstärke von D—E fast die Hälfte (48%) und die von C—D fast ein Drittel (29%) der Gesamtlichtstärke des Spektrums[1] beträgt, so fällt in fast allen Absorptionsspektren, der Farbenton des untersuchten Pflanzenteils mag sein, welcher er wolle, in die Region C—D oder D—E das Maximum der Gesamtlichtstärke. D—E zeigt die grösste Gesamthelligkeit im Absorptionsspektrum des grünen Pflanzenblattes, des gelben und des hellblauen Blumenblattes; während bei einem dunkler blauen Blumenblatt das Maximum in E—F fällt. Bei allen übrigen Pflanzenteilen, roten Blättern, sowie weissen und roten Blumenblättern ist das Maximum in C—D.

---

[1] Im Original (l. c. p. 76) steht, wohl infolge eines Druckfehlers „Sonnenspektrums". Gemeint ist natürlich das Spektrum des jeweiligen Blattes.

Gesamtlichtstärke

der Einzelbezirke der Absorptionsspektren von Pflanzengeweben

(in Tausenden von Lichteinheiten)

Spektralregion	Sonnenspektrum	Blätter				Blumenblätter					
		Akazie (grün) Amorpha fruti cosa	Wilde Rebe Ampelopsis hederacea		Corylus avellana rubra (rötlich)	Rose (rot mit bläulichem Anflug)	Papaver -rhöas (rot)	Malva alcea (weiss)	Cichorie (hellblau)	Borago offic. (blau)	Calendula offic. (orangegelb)
			grün	rot							
		0,182 mm	0,16 mm	0,127 mm	0,08 mm	0,127 mm	0,04 mm	0,127 mm		0,093 mm	0,11 mm
A—a	4 0 8	1,0	0,4	1,0	1,3	0,08	0,9	0,2	—	1,0	—
a—B	9 0 6 9	10,1	11,5	17,6	17,2	4,4	24,5	8,7	24	16,4	2,1
B—C	2 3 3 9 8	10,3	18,2	85,0	34,3	67,7	33,5	68,3	67,4	19,3	26,0
C—D	1 6 4 3 2 8 1	787,6	883,3	1251,2	1124,5	942,4	2857,6	1589,5	1466	1158	768,5
D—E	2 7 2 1 4 4 8	1235,7	1124,3	344,9	834,7	113,5	1045	1384	2077	1230,6	950,3
E—F	1 0 5 8 5 7 9	316,4	235,2	18,1	257,5	12,1	27,3	1050,6	782,8	1425,5	43,6
F—G	2 0 5 8 1 4	75,4	46,8	20,3	71,6	48,4	2,4	360,9	429	339,4	2,1
G—H	2 4 9 2 6	3,9	1,6	0,66	5,3	2,7	0,2	9,2	16,4	19,2	Spuren (etwa 0,2)
Gesamtlichtstärke des Spektrums	5 6 8 6 9 5 3	2440	2321	1793	2346	1191	3991	4862	4863	4208	1793
Von dem auffallenden Licht geht durch das Pflanzengewebe	—	1/2330	1/2450	1/3270	1/2424	1/4774	1/1424	1/1169	1/1169	1/1351	1/3171

Relative Gesamtlichtstärke

der Einzelbezirke der Absorptionsspektren von Pflanzengeweben

(die Gesamtlichtstärke des Spektrums = 1000)

Spektralregion	Sonnenspektrum	Blätter				Blumenblätter					
		Akazie (grün)	Wilde Rebe		Corylus avellana rubra (rötlich)	Rose (rot mit bläulichem Anflug)	Papaver rhöas (rot)	Malva alcea (weiss)	Cichorie (hellblau)	Borago (blau)	Calendula (orangegelb)
			grün	rot							
A—a	0,07	0,41	0,08	0,57	0,53	0,06	0,2	0,04	—	0,2	—
a—B	1,59	4,2	10,2	10,1	7,33	3,71	6,1	1,94	4,9	3,9	1,2
B—C	4,47	4,2	38,4	48,9	14,6	56,8	8,3	15,2	13,8	4,6	14,5
C—D	289,26	322	384,1	719,5	479,0	791	700	358,1	302	275	429
D—E	479,37	518	452,2	198,4	356,0	95,3	262	310	427	292	530
E—F	186,53	130	94,7	10,4	110,0	10,1	6,8	235	161	338	24,3
F—G	36,26	12,3	18,9	11,7	30,5	40,4	0,6	80,6	88,2	80,4	1,2
G—H	2,45	1,6	0,6	0,37	2,26	2,2	0,05	2,1	3,3	4,6	0,1

Das Absorptionsspektrum des weissen Blumenblattes zeigt in der relativen Helligkeit seiner Einzelbezirke die geringsten Abweichungen vom Sonnenspektrum. Im Absorptionsspektrum überwiegt die relative Helligkeit des Rot (trotz des Absorptionsbandes in B—C!) und des Orange, während die Regionen des Blau und Violett verhältnismässig erheblich lichtärmer sind. Der relative Helligkeitsanteil des Grün (wenigstens des minder brechbaren) entspricht ungefähr dem des Sonnenspektrums.

Rote Blätter lassen die roten und orangefarbigen Strahlen am leichtesten durch; viel weniger die grünen, blauen und violetten.

Rein rote Blumenblätter verhalten sich ähnlich; gegenüber der Helligkeit der Region C—E ihres Absorptionsspektrums treten die übrigen Regionen enorm zurück. Ein rotes Rosenblatt mit kaum wahrnehmbarem blauem Anflug lässt verhältnismässig grosse Mengen Blau und Violett durch, gegenüber dem rein roten Blatt.

Blaue Blumenblätter bevorzugen den Durchgang des blauen, violetten, grünblauen und roten Lichtes.

Orangefarbige Blätter lassen Rot, Gelb, Orange relativ am leichtesten, Grün viel weniger, Blau am wenigsten durch."

Vierordt verglich ferner die Lichtintensität der vom grünen Pflanzenblatt reflektierten und durchgelassenen Spektralfarben.

Er fand, dass das Ahornblatt von dem unter einem Winkel von 45° auffallenden Sonnenlicht etwa $^1/_3$ mehr reflektiert, als es senkrecht auffallendes Sonnenlicht durchgehen lässt. Das Verhältnis der Lichtstärke der Einzelfarben ist im Reflexions- und Absorptionsspektrum keineswegs gleich, wie die folgende Tabelle zeigt.

Relative Helligkeiten der Einzelbezirke des Absorptions- und Reflexionsspektrums des Ahornblattes. Die Gesamtlichtstärke der hellsten Region = 1000 gesetzt.

Spektralregion	Reflexionsspektrum	Absorptionsspektrum
A—a	0,32	0,65
a—B	1,56	8,15
B—C	9,32	10,66
C—D	428,6	725
D—E	1000	1000
E—F	420,5	362
F—G	103,4	57,6
G—H	12,02	2,9

„Im Absorptionsspektrum walten demnach die minder brechbaren Strahlen von A—D, im Reflexionsspektrum aber die brechbareren Strahlen von E—F verhältnismässig mehr vor. Region D—E hat dagegen in beiden Spektren nahezu dieselbe relative Helligkeit: im Absorptionsspektrum $\frac{15}{32}$, im Reflexionsspektrum $\frac{22}{43}$."

Das Grün, welches die durch das Blatt durchtretenden Spektralfarben bilden, ist also nicht bloss der Lichtstärke, sondern auch der Farbennüance nach ein anderes Grün, als dasjenige, welches das Blatt im reflektierten Licht erzeugt. In beiden Spektren beträgt zwar der Anteil der bei weitem lichtstärksten Region D—E nahezu dasselbe, d. h. nicht weniger als etwa die Hälfte der Geamthelligkeit des Spektrums; dagegen ist im Absorptionsspektrum die Region C—D, im Reflexionsspektrum die Region E—H bevorzugt.

An dieser Stelle scheint es mir geboten, einige Äusserungen Engelmanns (15, pg. 85) anzuführen. Derselbe gelangt durch Untersuchungen von Algen mit Hilfe des Mikrospektralphotometers zu dem Resultat, „dass der durch Reflexion bedingte Verlust meist alle Strahlengattungen gleichmässig betrifft", ferner kann er ihn für alle seine Beobachtungen „im Mittel nur auf einige Prozente des

Wertes von J (Intensität des auffallenden Lichtes) veranschlagen." Eine exakte empirische Basis fehlt jedoch. Sollten die Aussagen Engelmanns sich aber auch voll und ganz bestätigen, so brauchen deshalb seine Resultate denen Vierordts doch nicht zu widersprechen. Es wird jedermann ohne weiteres einsehen, dass der Gesamtverlust durch Reflexion in einer fadenförmigen Alge kleiner ist als in einem Blatt, weil eben weniger reflektierende Flächen vorhanden sind. Die durchgelassene Lichtmenge ist dagegen bei der Alge grösser. Der Fehler, der durch die Vernachlässigung der Reflexion entsteht, wird bei der Alge also bedeutend kleiner sein als beim Blatt. Dass ferner die qualitative Zusammensetzung von Reflexions- und Absorptionsspektrum für die Alge dieselbe sein soll, kann bei der grossen Symmetrie der beiden Hälften eines Algenquerschnittes nicht auffallen.

Reinke (93, pg. 187, 188 und 193) stellte Engelmanns Behauptung eine zweite Behauptung gegenüber. „Der Lichtverlust in einem farblosen Petalum von *Chrysanthemum* ist sehr bedeutend" und „der weitaus grösste Teil der durch das farblose Petalum hervorgebrachten Lichtschwächung ist aber auf Rechnung von Reflexion und Brechung des Strahlenbündels der Lichtquelle zu setzen — in der Reihe der Extinktionskoeffizienten etwa die links vom Komma stehende 1". Wie Reinke aus den von ihm mitgeteilten Beobachtungen einen so bestimmt formulierten Satz herleiten kann, verstehe ich nicht. Zudem spricht Engelmann von dem Verlust durch Reflexion allein. Es muss übrigens noch bemerkt werden, dass der bei einem Blumenblatt und einer im Querschnitt einzelligen Fadenalge durch Reflexion verlorene Lichtverlust nicht gleich ist. Die grössere Zahl reflektierender Flächen beim Petalum muss auch einen grössern Verlust durch Reflexion bedingen (vergl. übrigens auch 14, pg. 441).

Um einige Anhaltspunkte zu bekommen über die Lichtmengen, welche dem Blatt durch Reflexion und Durchstrahlung in den einzelnen Spektralbezirken verloren gehen, summiert Vierordt die Gesamtlichtstärke der einzelnen Spektralbezirke des Absorptions- (senkrechter Abfall) und Reflexionsspektrums (45° Einfallswinkel); dass hiedurch kein genaues Resultat erzielt werden kann, liegt auf der Hand.

Es ergibt sich das folgende Resultat:

„Die grüne Farbe des vom Blatt reflektierten und durchgelassenen Lichtes wird zunächst dadurch bedingt, dass die verhältnismässige Gesamthelligkeit in den Regionen D—G des Absorptions- und Reflexionsspektrums etwas grösser ist als im Sonnenspektrum. Indem auf diese Regionen $^7/_{10}$ der ganzen Lichtstärke des Sonnenspektrums fallen, so muss eine auch nur mässige relative Steigerung ihrer Lichtstärken den Eindruck des Grün hervorrufen. Dazu kommt noch, dass die verhältnismässige Helligkeit des vom Pflanzenblatt reflektierten und durchgelassenen[1] Lichtes von C—D geringer ist als im Sonnenspektrum."

Die verhältnismässige Gesamtmenge des reflektierten und durchgelassenen roten Lichtes ist — trotz der stärkeren Absorption im Bereich des Absorptionsbandes des festen Chlorophylls — gleichwohl grösser als die relative Helligkeit von A—C im Sonnenspektrum. Die stärkere Wirkung des Rot wird aber durch die gesteigerte Helligkeit des komplementären Grün und Blaugrün mehr als kompensiert.

Die optischen Lichtmengen, welche das Blatt von dem senkrecht auffallenden Licht durchlässt und von dem unter 45° auffallenden Sonnenlicht reflektiert, welche also für das Blatt verloren gehen, sind in den einzelnen Spektralbezirken.

$$A—a = \frac{1}{240} \qquad D—E = \frac{1}{733}$$

$$a—B = \frac{1}{580} \qquad E—F = \frac{1}{717}$$

$$B—C = \frac{1}{639} \qquad F—G = \frac{1}{653}$$

$$C—D = \frac{1}{808} \qquad G—H = \frac{1}{786}$$

[1] Bei Vierordt steht unrichtig „absorbierten".

Eine enorm prävalierende verhältnismässige Bevorzugung von Licht bestimmter Wellenlänge für die assimilierenden Funktionen des grünen Pflanzengewebes existiert demnach sicherlich nicht. Die obigen Zahlen bieten in ihren Extremen keine stärkere als eine 3,6fache Differenz. Vom roten Licht benützt das Blatt — trotz dem Absorptionsstreifen B—C — sogar verhältnismässig kleinere Anteile als von den brechbareren Strahlen."

Später hat N. J. C. Müller Durchleuchtungsversuche angestellt (82, pg. 316), indem er getrennt die Absorption der chemischen und der minder brechbaren Strahlen zu bestimmen suchte.

Zur Bestimmung der Absorption der chemischen Strahlen benützte Müller nach dem Vorgang von Roscoe Chlorsilberpapier. Resultate führe ich keine an, da später ähnliche Versuche nach exakteren Methoden von andern gemacht wurden. Über den Einfluss der Assimilation auf die Durchlässigkeit der chemischen Strahlen suchte Müller durch die folgenden Versuche sich Aufschluss zu verschaffen. Zwei möglichst gleiche Laubblätter eines Zweiges der *Castanea vesca* wurden auf Chlorsilberpapier gelegt, der Stiel des einen Blattes mit einem H-Gasometer, der des andern mit einem zweiten Gasometer verbunden, welcher 10% CO_2 und 90% atmosphärische Luft enthielt. Zur gleichen Zeit wurden die Blätter mit diffusem Tageslicht sehr schwach beleuchtet. Die Lichtpause des mit H gefüllten Blattes war auffällig dunkler wie diejenige des andern Blattes.

In gleichem Sinne verlief ein anderer Versuch. Ein Fiederblättchen einer nicht genannten Pflanze wurde 12^h ins Dunkle gebracht, ein zweites Fiederblättchen desselben Laubblattes liess man im Licht. Es ergab sich, dass das verdunkelte nunmehr transparenter geworden war.

Falls nun die miteinander verglichenen Blätter unter gleichen äussern Umständen auch wirklich gleich transparent waren, so weisen die obigen Versuche zweifelsohne auf einen Zusammenhang hin zwischen der optischen Eigenschaft und den durch die Unterbrechung der Assimilation bedingten stofflichen Veränderungen (Auflösen der Stärke etc.)

Bezüglich der Einflusses der Herbstfarbe hat Müller mit Prunus und Liquidambar Versuche angestellt und gefunden, dass beim Farbenwechsel von Grün nach Gelbgrün und Gelb, also im Beginn der Verfärbung das Blatt durchlässiger wird für die chemischen Strahlen, später aber, beim Übergang von Gelb nach Rotgelb und Rot undurchlässiger als das grüne Blatt gewesen war.

Um die Absorption der minder brechbaren Strahlen zu ermitteln, bestimmte Müller die Zahl der Blätter, die aufeinandergelegt werden mussten 1) um die Strahlen vom linken Ende bis zu B vollständig zu absorbieren und 2) um die Strahlengruppe B bis C zu absorbieren. Die Beschränkung der Beobachtung auf die genannten Spektralbezirke war ermöglicht durch die Verwendung der Lommel'schen Brillen (Erythroskop und Melanskop). Da mit Sonnenlicht gearbeitet wurde, und die Versuche sich auf eine grössere Zeit ausdehnten, so war es notwendig, die jeweilige Stärke des Sonnenlichtes zu bestimmen und die notwendigen Reduktionen vorzunehmen. Leider vermissen wir bei den Untersuchungen Müllers die Angabe eines äusserst wichtigen Faktors, der Blattdicke. Diesen Umstand wird man bei einer allfälligen Benützung der Müller'schen Zahlen nicht vergessen dürfen.

In chronologischer Reihenfolge fortschreitend gelangen wir jetzt zu den Arbeiten Reinkes (93). Die Untersuchungsmethode Reinkes deckt sich im Prinzip mit derjenigen Vierordts, nur gebrauchte er nicht ein Vierordt'sches, sondern ein Glan'sches Spektrophotometer, welches bessere Bestimmungen erlaubt als das erstere. Reinke hat zwar keine Untersuchungen an Laubblättern vorgenommen, einige seiner Resultate sind aber auch für uns von Wichtigkeit. So gibt die auf pg. 188 l. c. angeführte Tabelle ein Bild von der Schwächung des Lichtes durch farbloses Pflanzengewebe. Ein Petalum einer Strahlenblüte von *Chrysanthemum*, das frisch rein weiss war, wurde mit Wasser injiziert und erschien darauf vollkommen glashell. Wie aus den Messungen folgt, steigt die Absorption kontinuierlich vom roten gegen das violette Ende des Spektrums. Die Lichtstärke beträgt im Bezirk 440—420[1] nur 66% von derjenigen im Bezirk 720—700, es sind 44% dort mehr absorbiert worden. Aus dem Umstand, dass durch ein mit Wasser injiziertes Plättchen von Hollundermark das Licht in allen Bezirken des Spektrums ganz gleichmässig geschwächt wird, während eine in einem Glasgefäss mit planparallelen

[1] Die Zahlen drücken die Wellenlängen der betreffenden Bezirke aus.

Wänden untersuchte Schicht von frischem Hühnereiweiss ein ähnliches Wachsen der Absorption vom Rot gegen das Violett erkennen liess, wie das Petalum von *Chrysanthemum*, glaubt Reinke folgen zu dürfen, dass diese steigende Absorption auf Rechnung der scheinbar farblosen Bestandteile des Plasmaleibes zu setzen ist.

Im Jahr 1888 zeigte Detlefsen (12, pg. 534), dass die Menge des von einem assimilierenden Blatte absorbierten Lichtes stets grösser ist, als die Menge Licht, welche dasselbe Blattstück wenige Minuten später oder früher im Sonnenschein absorbiert, wenn es sich in kohlensäurefreier Luft befindet. Das Prinzip der Methode war folgendes: Die zu benützenden Sonnenstrahlen waren durch Passieren einer Alaunlösung der dunkeln, ultraroten Strahlen beraubt worden und fielen auf ein Blatt, das einmal in CO_2 freier Luft, das andere Mal in Luft, die 10% CO_2 enthielt, sich befand. Die Intensität des durchgelassenen Lichtes wurde mittelst einer Thermonadel gemessen, die hinter dem Blatte aufgestellt war. Auf diese Weise wurde natürlich die Wärmewirkung bestimmt, welche bekanntlich auf der wenig brechbaren Seite am intensivsten ist, und deren Mass daher auch in erster Linie über das Verhalten dieser Strahlen Aufschluss geben muss, während Änderungen in der Intensität der violetten und ultravioletten Partie weniger deutlich angezeigt werden. Detlefsen fand im Mittel die bei der Assimilation verbrauchte Engerie in Prozenten der auf das Blattstück fallenden für ein Blattstück von

Urtica dioica zu	0,9%	
Humulus Lupulus zu	0,3%	(ungenau)
Asarum europaeum zu	1,1%	

Dass es sich nur um kleine Werte handeln kann, geht aus folgendem hervor. Es muss die bei der Verbrennung der im Blatt erzeugten Stärke erhaltene Wärmemenge ein Mass geben für die kinetische Energie des Lichtes, welche bei deren Bildung sich in potentielle Energie umsetzte. Es liefert nun 1 gr Stärke bei der Verbrennung 4479 kleine cal. (92[1]). 1 m^2 Blattfläche bildet nach Sachs in 1 Stunde ca. 1,5 gr trockene Stärke (112, pg. 28), wobei 6719 cal. verbraucht werden. Nach den Messungen von Crova (37, pg. 36) wollen wir für die Sonnenstrahlung in Calorien pro cm^2 und Minute die Zahl 1,21 annehmen. Für 1 m^2 erhalten wir 12 100 und für 1 Stunde 726 000 cal. Verbraucht werden hievon zur Stärkebildung 6719 cal., also rund 1%. Dies stimmt mit den Messungen Detlefsens genügend überein.

Die umfassendsten Untersuchungen über die Durchleuchtung verdanken wir Linsbauer (61). Derselbe arbeitete nach der von Wiesner (135, 136) angegebenen Methode, welche bekanntlich nicht die Intensität des gesamten Lichtes, sondern nur der photographisch wirksamen Strahlen zu messen bezweckt. In erster Linie wurde der Unterschied der Durchleuchtung der Sonnen- und Schattenblätter bestimmt. Aus den diesbezüglichen Untersuchungen ist ersichtlich, dass es Sonnenblätter gibt, welche bis zu zwanzigmal mehr Licht durchlassen als andere, während bei den untersuchten Schattenblättern das Maximum der Durchleuchtung nur etwa siebenmal grösser als das Minimum ist. Ordnet man die Sonnen- und Schattenblätter nach dem Grade der Transparenz, mit dem undurchlässigsten beginnend, so bekommt man etwa folgende Reihen:

Sonnenblätter:		Schattenblätter:	
Cytisus Laburnum	0,0003	*Cornus sanguinea*, *Quercus Robur*	0,003
Crataegus oxyacantha, *Cornus sanguinea*	0,0004	*Berberis vulgaris*, *Crataegus oxyacantha*, *Cytisus Laburnum*	0,004 [2]
Ligustrum vulgare	0,0005		
Acer Platanoides	0,0008		
Crataegus monogyna, *Fraxinus excelsior*, *Viburnum Lantana*	0,001	*Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior*, *Ligustrum vulgare*	0,005 [2]

[1] Nach neueren Untersuchungen Stohmann's etwas geringer.

[2] Bei Linsbauer sind die beiden Zahlen infolge eines Druckfehlers verwechselt.

Sonnenblätter:		Schattenblätter:	
Sorbus Aria, *Tilia parvifolia ?*	0,002	*Clematis Vitalba*, *Evonymus europaeus*	0,006
Berberis vulgaris, *Carpinus Betulus*, *Rhamnus cathartica*, *Ulmus montana*	0,003	*Sorbus Aria*, *Ulmus montana*	0,007
Clematis Vitalba	0,004	*Carpinus Betulus*, *Rhamnus cathartica*	0,008
Evonymus europaeus, *Fagus silvatica*, *Lonicera Caprifolium*	0,005	*Crataegus monogyna*, *Viburnum Lantana*	0,01
Quercus Robur	0,006	*Fagus silvatica*	0,02

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass das transparenteste Sonnenblatt noch immer dreimal weniger Licht durchlässt, als das durchsichtigste Schattenblatt, und das Verhältnis der durch das opakste Sonnenblatt hindurchgestrahlten Lichtmenge zu der unter dem undurchsichtigsten Schattenblatt vorhandenen ist sogar 1 : 10, während das lichtdurchlässigste Sonnenblatt doppelt so viel Licht hindurchlässt, als das allerundurchlässigste Schattenblatt. Die extremsten Werte der Durchleuchtungsgrösse zeigen das Schattenblatt von *Fagus silvatica* und das Sonnenblatt von *Cytisus Laburnum*, das Buchenblatt aus dem Schatten lässt ca. 67mal so viel Licht durch als das *Cytisus*-Blatt von dem sonnigen Standort.

Je typischer ein Blatt als Schattenblatt ausgebildet ist, desto beträchtlicher ist seine Durchleuchtungsgrösse innerhalb der für die betreffende Species möglichen Grenzen. Leider hat es Linsbauer unterlassen, die Blattdicken zu bestimmen.

Die Reihen, welche N. J. C. Müller und Linsbauer (61) aufstellten, stimmen nicht überein. Die Versuche Linsbauers haben sich sowohl über weitere Exemplare der untersuchten Species als auch auf weitere Species auszudehnen.

Um die Rolle, die das Chlorophyll bei der Durchlässigkeit eines Blattes für Lichtstrahlen spielt, annähernd kennen zu lernen, können panachierte Blätter Verwendung finden; allerdings sollten damit wenigstens Dickenmessungen Hand in Hand gehen. Die besten Resultate wird man dann erhalten, wenn die zu untersuchenden grünen und weissen Teile aneinanderstossen, weil dadurch Differenzen in Blattdicke, Struktur und Wassergehalt möglichst vermieden werden; in diesem Fall können auch vergleichende Dickenmessungen im grünen und weissen Teil in der Regel unterbleiben. Solche Versuche führte Linsbauer aus. Benützt wurden nur rein weiss panachierte Blätter. Die folgende Tabelle gibt die Resultate Linsbauers wieder.

Name[1]	Relative Intensität (berechnet für I=1)[2]		Chlorophyllwirkung
	unter den farblosen Blattteilen	unter den grünen Blattteilen	
Acanthopanax pentaphyllus	0.34	0.07	0,27
Acer Negundo	0.24	0.01	0.23
Aspidistra elatior	0.26	0.03	0.23
Cornus alba	0.33	0 09	0.24
Diefenbachia sp.	0.29	0.03	0.26
Funkia japonica	0.40	0.04	0.36
Humulus japonicus	0.39	0.14	0.25
Nicotiana colossea	0 30	0.01	0.29
Panicum sp.	0.53	0.21	0.32
Pelargonium zonale	0.34	0.03	0.31
Sambucus sp.	0.24	0.01	0.23
Vinca sp.	0.30	0.03	0.27
Zea Mays	0.21	0.03	0.18

[1] Verwendet werden diejenigen Abarten, welche die Gärtner mit dem Terminus „foliisvariegatis“ bezeichnen.

[2] Unter I ist das auffallende Licht zu verstehen.

Es gehen somit durch das farblose Blatt 2—5 Zehntel des auffallenden Lichtes. Wenn nun das auf die farblosen Spreitenteile auffallende Licht durch diese z. T. reflektiert, diffundiert und absorbiert wird, das durchgelassene Licht aber — wie diese Tabelle zeigt — bei allen Blättern nahezu denselben Helligkeitsgrad besitzt, so muss die Wirkung der Blattgewebe in dieser Beziehung eine sehr gleichmässige sein. Die Durchleuchtungsgrösse des Blattgewebes der untersuchten Blätter berechnet sich als Mittel aus den Einzelwerten zu 0,32, ein Wert, der jedoch nur innerhalb nicht zu extremer Blattdicken Geltung behalten kann.

Die relativen Lichtstärken unter den grünen Blattpartien variieren in viel höherem Grade. Rechnet man auch hier einen Mittelwert aus — derselbe beträgt 0,056 — so ergibt sich, dass die untersuchten grünen Blätter die Intensität des auffallenden Lichtes im Durchschnitt auf 5—6 Hundertel abschwächen.

Hieraus geht deutlich hervor, dass nicht allein das Chlorophyll die Absorption der Lichtstrahlen besorgt, sondern dass auch das farblose Blattgewebe erhebliches dazu beiträgt.

Was nun speziell den Einfluss des Clorophylls betrifft, so ist derselbe nicht einfach der Differenz der für das grüne und farblose Blatt erhaltenen Zahlen gleichzusetzen. Denn mit der Pigmenteinlagerung sind noch andere Änderungen (z. B. Auftreten von Stärke) verbunden, welche die Transparenz beeinflussen können. Nichtsdestoweniger ist in der letzten Tabelle der Kürze wegen die Differenz zwischen der Transparenz farbloser und grüner Spreitenteile als „Chlorophyllwirkung" bezeichnet, sie berechnet sich im Durchschnitt zu 0,264.

Aus den erhaltenen Mittelwerten folgt, dass, wenn auf ein Blatt 100 photographisch wirksame Lichtstrahlen auffallen, 32 durch den farblosen Teil einer Spreite hindurchgehen, durch den grünen aber nur 5,6. Es beträgt daher die „Gewebewirkung" d. h. die lichtabhaltende Wirkung des nicht grünen Gewebes infolge kombinierten Auftretens von Reflexion (an der Oberfläche) resp. Diffusion und Absorption (im Innern des Blattes) 68% des auffallenden Lichtes, die „Chlorophyllwirkung" 26,4%.

Wir verdanken ferner Linsbauer einige vorläufige numerische Angaben über die Bedeutung einiger Schutzmittel gegen zu intensives Licht. Eine Zusammenstellung dieser Schutzmittel findet sich bei Wiesner (132).

Bezüglich der durch die Blattstellung verursachten Änderung des Einfallswinkels ist ohne weiteres klar, dass die Beleuchtung, welche ein bestimmtes ebenes Blatt erhält, proportional ist dem Cosinus des Einfallswinkels.[1] Über die Bedeutung von Stellung und Krümmung der Spreite von dem genannten Gesichtspunkt aus betrachtet vergleiche man Wiesner.[2]

Zum Studium der Bedeutung der Haarüberzüge eigneten sich besonders gut die Blätter des Quittenapfelbaumes, bei welchem die Haare leicht entfernt werden können, wenn man mit dem Finger sanft über das Blatt fährt. Es wurde jeweils die eine Längshälfte des Blattes oberseits enthaart.

Es gingen die folgenden Lichtmengen

		durch die normale Blatthälfte	durch die enthaarte Blatthälfte
I	ganz junges Blatt	0.014	0.027
II	etwas älteres Blatt	0.025	0.027
III	noch älteres Blatt	0.017	0.019
IV	völlig herangewachsenes Blatt, dessen Oberseite bereits kahl war	0.003	—

es werden daher aufgehalten die folgenden relativen Lichtmengen

	vom Blattgewebe	von den Haaren allein
bei I	0.973	0.013
II	0.973	0.002
III	0.981	0.002
IV	0.997	0.000

[1] Die Angabe von Stahl (110, pg. 203) „Bei Blättern mit glatter, ebener Epidermis ist die Beleuchtungsintensität der Blattebene wie bekannt proportional dem Sinus des Einfallswinkels" ist natürlich unrichtig.

[2] J. Wiesner, Anpassung des Laubblattes an die Lichtstärke. Biolog. Centralblatt 1899, 19.

Die Wirkung des Haarüberzuges ist also am stärksten beim jüngsten Blatt. Immerhin kommt dieselbe, wenn es sich um die Schutzwirkung des ganzen Blattes für ein von ihm bedecktes Gewebe handelt, nicht in Betracht.

Zur Ermittlung des Einflusses der Anthokyanbildung dienten normalgrüne und rote Blätter von *Cornus sanguinea*. Die diesbezüglichen Messungen ergaben:

Für die roten Blätter 0.0001
„ „ grünen „ 0.0004

Die Wirksamkeit des Anthokyans ermittelt sich in diesem Fall zu 0,0003, falls — was nicht angeben ist — die übrigen Umstände, vor allem die leicht zu ermittelnden Blattdicken gleich waren.

Es ist interessant, dass die Durchleuchtungsgrössen der jungen Blätter in der Regel, aber nicht immer, grösser sind als der alten, was meiner Vermutung nach in erster Linie der Blattdicke zuzuschreiben sein dürfte. Das entgegengesetzte Verhalten zeigen z. B. *Populus alba*, *Verbascum* spec. und *Tussilago Farfara*, hier wird mehr Licht von den ältern Blättern durchgelassen, wobei wohl in erster Linie die Haarwirkung im Spiele ist; doch zeigen auch gewisse nicht behaarte Blätter, so die Nebenblätter von *Liriodendeon tulipiferum* dasselbe Verhalten. In andern Fällen findet man gleiche Transparenz bei jugendlichen und ausgewachsenen Blättern.

Es sei ferner noch hingewiesen auf die nach ganz andern Methoden ausgeführten Untersuchungen Balsamos, von denen bereits bei den thermischen Eigenschaften die Rede war. Leider teilt das Referat keine Untersuchungsergebnisse mit, so dass sich über die Anwendbarkeit der Methode und über die erzielten Resultate nichts aussagen lässt.

Endlich sei noch auf die als Beleuchtungsapparate dienenden Papillen der Sammetblätter hingewiesen (Stahl 110).

Nachdem wir uns bis jetzt hauptsächlich mit der Intensität der von dem Blatt hindurchgelassenen Strahlen beschäftigt haben, ist es unser weitere Aufgabe, die Qualität des durchgelassenen Lichtes zu besprechen. In erster Linie kommen für uns die Untersuchungen lebender Blätter in Betracht; das Spektrum der Chlorophylllösung setzen wir der Hauptsache nach als bekannt voraus.

Das Spektrum des sog. „festen Chlorophylls“ wurde zum erstenmale von Hagenbach eingehend untersucht, entweder direkt an Blättern oder, indem der aus der warmen alkoholischen Lösung sich abscheidende grüne Niederschlag auf einem Papier vor die Spalte des Apparates gebracht wurde. Hagenbach fand in beiden Fällen, dass dieses Spektrum mit dem der Lösung nicht übereinstimmte. Dasselbe zeigt einen Absorptionsstreif im Rot, der weiter nach links liegt als in der Lösung, und eine Absorption, die sich vom Blaugrün an gleichförmig über den brechbareren Teil des Spektrums erstreckt, je nach der Dicke der Schicht sich mehr oder weniger nach links ausdehnend. Die wichtige Verschiebung von Streif I wurd von Hagenbach zuerst beobachtet.

Auf die früheren Untersuchungen von Stokes (111), Sachs (99), Simmler (108), Valentin (120), Askenasy (5), Schönn (105), sowie auf die Arbeiten von Gerland und Rauwenhoff (19, 20), Timiriazeff (113), Wegscheider (129) Mann (66), Müller (79), Vogel (124), Hartley (33) kann nur hingewiesen werden.

Kraus (52, pg. 86), der mit einem Browning'schen Mikrospektralapparat arbeitete, sagt: „Die Absorptionsbänder (unversehrter Blätter) sind nach Zahl und Bau genau die der Lösung, aber ihre Lage ist verschoben.“ „Alle Bänder sind gleichmässig weiter gegen das rote Ende hingerückt.“ Versuche zur Ergründung dieser Erscheinung haben Kraus (l. c., pg. 94) zu dem Resultat geführt, dass die Lage der Absorptionsbänder des Chlorophylls sich mit der Dichtigkeit (spezifischem Gewicht) des lösenden Mediums ändert. Je dichter das Lösungsmittel, desto weiter rücken die Absorptionsbänder gegen das rote Ende und umgekehrt (vergl. 53, pg. 54).

Nach Gerland (19) zeigen alle untersuchten Blätter den Streifen I deutlich. Die übrigen Streifen treten um so besser hervor, je grössere gleichmässig grüne, nicht von durchsichtigen Nerven unterbrochene Flächen mit glatter Oberfläche das Blatt zeigt. Waren dagegen viele grössere Nerven

vorhanden, so wurden sie verwaschener oder verschwanden. Die Absorptionsstreifen sind alle ein klein wenig gegen das rote Ende des Spektrums verschoben. Die Vermutung, dass die Absorptionsstreifen des Blattes denen der Lösung entsprechen, gewinnt an Wahrscheinlichkeit durch einen Versuch Gerlands. Gestützt auf Melde (70), der gefunden hatte, dass eine Trübung eine Verschiebung der Absorptionsstreifen verursachen kann, vermischte er Seifenwasser, das allein das Spektrum des weissen Lichtes gab, mit einer Chlorophylllösung. Das neue Spektrum zeigte mit dem der Blätter grosse Ähnlichkeit, ohne jedoch die notwendige Übereinstimmung zu besitzen. Es ist möglich, dass mit einem andern trüben Medium günstigere Resultate erzielt werden. Melde (l. c., pg. 282 und Pogg. Ann. Bd. 124) hatte nun aber ferner gefunden, dass ein einseitig absorbierender Körper imstande sein kann, Aborptionsstreifen zu verschieben und zwar nach der Lichtseite seines Absorptionsspektrums; Gerland vermutet, dass vielleicht in dem Plasma ein Körper vorliege, der die genannte Eigenschaft besitzt. Dass im Plasma die Absorption von Rot nach Violett zunimmt, hat bekanntlich Reinke nachgewiesen. Die direkte experimentelle Bestätigung der Vermutung Gerlands, durch Zusetzen von farblosem Plasma zu einer Chlorophylllösung ist bis jetzt nicht erfolgt.

Lommel (63 und 64) bemerkt, dass die Chlorophyllgelatine nicht das Spektrum der alkoholischen Chlorophyll lösung gibt, welche zur Färbung der wässerigen Gelatinelösung verwendet wurde, sondern dasjenige des „festen" Chlorophylls, wie es lebende Pflanzenblätter im durchfallenden Lichte zeigen. Bei andern Farbstoffen konnte Lommel einen solchen Unterschied im Spektrum des in der Gelatine fest gewordenen Farbstoffs gegenüber seiner Lösung nicht bemerken.

Kraus (53) war schon früher zu dem Resultate gekommen, dass die Lage der Absorptionsbänder sich mit der Dichtigkeit des Lösungsmittels ändert. Da nun die Bänder um so mehr gegen Rot rücken, je dichter die Lösungsflüssigkeit ist, so muss auch umgekehrt, aus der bekannten Lage der Bänder auf die unbekannte Dichtigkeit des farbstofftragenden Mediums geschlossen werden können, wenn man in der Lage ist, eine Flüssigkeit von bekanntem spezifischem Gewicht zu finden, welche die gleiche Bänderlage gibt, wie man sie bei einem Träger unbekannter Dichtigkeit gefunden hat. „Es wäre somit ein Mittel gegeben, durch genauen Vergleich der Lage der Absorptionsbänder des lebenden Blattes, wo der Chlorophyllfarbstoff in eine Eiweisssubstanz unbekannter Dichtigkeit eingeschlossen ist, mit der Lage der Bänder in Medien bekannter Dichtigkeit, die Dichtigkeit der Chlorophyllkörner selbst zu bestimmen." Kraus hält seine Untersuchungen für diese Zwecke aber noch nicht ausreichend.

Aus den Arbeiten von Kraus geht ferner hervor, dass die Angaben über die absolute Lage der Absorptionsbänder von Flüssigkeiten nur dann Wert haben, wenn die Lösungsmittel und ihre spez. Gewichte angegeben sind. (Die Untersuchungen von Kraus beziehen sich, wo nicht das Gegenteil angegeben ist, immer auf eine alkoholische Lösung und auf Alkohol von 0,816 spez. Gewicht). Hagenbachs spätere Untersuchungen an Blättern (26) führten zu Resultaten, die mit denen von Kraus ziemlich übereinstimmen; ein wesentlicher Unterschied ist nur bei Streif II, der bei Kraus um eine merkliche Grösse mehr nach dem roten Ende zu liegt.

Vierordt (121, pg. 78) findet, „dass das Absorptionsspektrum grüner Blätter ungefähr an den meisten derjenigen Stellen, in welchen das Spektrum des gelösten Chlorophylls wirkliche Absorptionsstreifen aufweist, unverkennbare Andeutungen stärkerer Absorption ergibt. Die Resultate der photometrischen Messung der Lichtstärke solcher Stellen sind selbstverständlich beweisender als die auf subjektiven Anschauungen begründeten Angaben der Grenzen solcher „Absorptionsbänder."

Aus den Messungen Vierordts geht unter anderm hervor, dass die Region B—C mit dem Hauptabsorptionsstreif keineswegs die der stärksten verhältnismässigen Absorption ist, wie viele Forscher bisher angenommen hatten, sondern sich nur von ihren Nachbarbezirken durch eine mässig stärkere Absorption auszeichnet.

Nach Kraus rücken die Absorptionsstreifen um so mehr dem roten Ende zu, je grösser das spez. Gewicht des lösenden Mittels ist. Jedoch findet Kundt dies keineswegs bestätigt; seine Untersuchungen führen ihn zu dem Ausspruch (54): „Mischt man zu einer absorbierenden Substanz andere nicht absorbierende Medien, so rückt ein Absorptionsstreifen, welcher sich im Bereiche λ_1 bis λ_2 des Spek-

trums befindet, um so mehr nach dem roten Ende des Spektrums, je grösser die Konstante B ist, welche in dem Bereich λ_1 bis λ_2 die Dispersion des zugesetzten, nicht absorbierenden Mediums darstellt."

Gegen die Gültigkeit dieses Gesetzes sind Bedenken erhoben worden, von Vogel (124) und von Lepel (57).

Nach Wiedemann (130) hängt aber die Verschiebung der Bänder in Lösungen nicht bloss von dem Dispersionsvermögen des Mediums, sondern auch von chemischen Einflüssen ab. Tritt nämlich eine Atomgruppe in verschiedene Verbindungen ein, so ruft sie im allgemeinen das ihr entsprechende Absorptionsspektrum hervor (Nitroverbindungen, Chromate). Dasselbe kann aber durch die Gegenwart anderer, mit in dem Molekel vorkommenden Atome mehr oder weniger modifiziert werden. Aus spätern Untersuchungen von Hansen (30) über die Spektra verschiedener Lösungen des Hansen'schen reinen grünen Chlorophylls ergab sich, dass die Unterschiede nicht immer von Dispersionsverschiedenheiten der Lösungsmittel abhängen können und dass daher manche Lösungsmittel, die man als indifferente bezeichnet, beim Lösen vielleicht molekulare Verbindungen mit den absorbierenden Substanzen bilden dürften.

Wolkoff (140) machte mit Hilfe der Vierordt'schen Methode genaue Angaben über die Verhältnisse der Absorption in sämtlichen Teilen eines Chlorophyllspektrums. Er gelangte dabei zu den folgenden Schlüssen:

Das Band I ist nicht dasjenige, welchem in alkoholischen Chlorophylllösungen die stärkste Lichtabsorption zukommt. Die Absorption in dem brechbareren Teile des Spektrums, etwa von F nach H hin, ist stärker als diejenige, die im Bande I stattfindet. Selbst in der helleren Region zwischen den Streifen V und VI einer normalen Chlorophylllösung ist die Aborption stärker als im Bande I.

Da bei einer gründlichen Untersuchung verschiedene Konzentrationen angewendet werden müssen, so war es notwendig festzustellen, ob die zum Auflösen angewandte Flüssigkeit wirklich nur als Lösungsmittel fungiert oder aber ob dieselbe, wenn sie in verchiedenen Mengen zugesetzt wird, das Chlorophyll chemisch modifiziert. Wolkoff fand, dass bei Zusatz von Alkohol in alkoholischen Chlorophylllösungen der Alkohol nur als Lösungsmittel wirkt und demgemäss keine chemische Modifikation des Chlorophylls bedingt.

Tschirch (114) findet zwar bei festem Chlorophyll[1] eine deutliche Verschiebung der Streifen gegen Rot, dieselbe geht jedoch niemals so weit, wie wir sie beim Blatte beobachten. Weder die Reinchlorophylltropfen, noch in Paraffin erstarrtes Chlorophyll[2] zeigte die Streifen in einer Lage, die mit der am Blatt beobachteten vollständig übereinstimmte. Auch durch Trübung der Lösung mittelst in der Lösung selbst gefälltem Bariumsulfat, wurde keine Verschiebung erhalten, die so stark war wie beim lebenden Blatt. Auch durch Mischung des Chlorophylls mit Xanthophyll, welch letzteres in der brechbareren Spektrumshälfte sehr breite Bänder besitzt und nach Tschirch bestimmt im Chlorophyllkorn mit dem Chlorophyllfarbstoff gemengt ist, wurden nie Verschiebungen erhalten, welche mit denen des lebenden Blattes übereinstimmten. „Es bleibt also nur übrig, auf dem Kundt'schen Gesetze fussend, dass eine um so grössere Verschiebung der Streifen nach Rot eintrete, je grösser das Dispersionsvermögen der Lösungsmittel ist, anzunehmen, dass der Chlorophyllfarbstoff nicht als solcher, sondern, ausser mit Xanthophyll, auch noch mit einem Körper von hohem Dispersionsvermögen, und da die Körper von hohem Dispersionsvermögen auch meist eine grössere Dichte besitzen, auch von hohem spez. Gewicht — gemengt sei. Zu welcher Gruppe von Körpern diese Substanz gehört, lässt sich zunächst nicht entscheiden. Die anatomische Untersuchung gibt bei der Kleinheit der Objekte und der Unzuverlässigkeit unserer mikrochemischen Reaktionsmethoden keine Antwort auf diese Frage. Vielleicht ist aber auch die ganze Erscheinung auf die so merkwürdige Anordnung des Farbstoffgemenges im Korn — dasselbe kleidet die Maschenräume des Plasmaschwammes, aus dem die Chlorophyllkörper bestehen, wie ein Wandbeleg aus — zurückzuführen oder wird nicht durch eine, sondern durch mehrere zusammenwirkende Ursachen bedingt."

---

[1] Unter „festem Chlorophyll" sind die grünen Tropfen des Tschirch'schen Reinchlorophylls verstanden.

[2] Reinke (94) sah in diesem Fall den Streifen im Rot an derselben Stelle liegen, wie beim Blatt.

Wenn man Blatt- oder Thallusstücke von Pflanzen, deren Zellsaft neutral oder fast neutral reagiert z. B. von *Enteromorpha compressa* durch Ätherdampf tötet (wobei die Intercellularen der Blätter sich auch teilweise mit Wasser füllen), so zeigen nach Reinke (93) alle eine charakteristische gleichsinnige Farbenänderung, die mit der durch sauren Zellsaft hervorgerufenen Chlorophyllanfärbung nichts gemein hat. Reinke hält durch seine Untersuchungen den Beweis für erbracht, dass man nicht imstande ist, einen Chromatophor zu töten, ohne dass dabei das Chlorophyll bereits eine Änderung erfährt. Werden unter Chlorophyll die im lebenden Chromatophor grüner Assimilationsorgane vorhandenen farbigen Molekel verstanden, so ist sicher, dass nach der Abtötung des Chromatophors das Chlorophyll nicht unverändert gleich geblieben ist, da eine Änderung der optischen Eigenschaften jedenfalls auf eine chemische Veränderung zurückzuschliessen gestattet.

Durch Anwendung von Ätherdampf ist es möglich, Blätter in 2—5 Min. zu töten, ohne dass die Chromatophoren Verschiebungen erfahren. Wenn aber schon in diesem Fall der Farbstoff Veränderungen erleidet, so kann noch viel weniger unverändertes Chlorophyll in irgend eine Lösung übergehen. Wenn auch dieselben Atomkomplexe, welche im lebenden Chromatophor die Farbe erzeugten in den Alkohol übergehen, so können dieselben doch im Chromatophor ganz andern Substanzen in lockerer Bindung zugefügt gewesen und erst durch den Alkohol abgespalten worden sein. Der Umstand, dass in den Lösungsmitteln neben einem grünen noch ein gelber Farbstoff vorhanden ist, kann daher nichts darüber aussagen, ob dieser Farbstoff im Chromatophor neben dem Chlorophyll präexistierte, oder aber als Bestandteil am Aufbau des Chlorophyllmolekels teilnahm.

Reinke bestimmte mit Hilfe eines Glan'schen Spektralphotometers die Extinktionskoeffizienten des lebenden Blattes bezw. Thallus für die einzelnen Spektralbezirke; ferner den Extinktionskoeffizienten des entfärbten Blattes bezw. Thallus; die Differenz nennt dieser Forscher den Extinktionskoeffizienten des Chlorophylls. Aus den gefundenen Zahlenwerten und noch besser aus der graphischen Darstellung ist ersichtlich, dass die Absorptionskurve des Chlorophylls derjenigen des lebenden Thallus von *Monostroma latissimum* sehr ähnlich ist, letztere unterscheidet sich hauptsächlich nur durch höheres Emporsteigen des Maximums zwischen F und H, ein Unterschied, der durch das Ansteigen der Absorption des farblosen Plasma gegen Violett hin bedingt ist. Die Kurve eines Blattes von *Elodea canadensis* ist identisch, von unwesentlichen Abweichungen abgesehen.

Die Bänder II und III sind nach Reinke nicht sichtbar. Die entgegengesetzt lautenden Angaben Wolkoffs schreibt Reinke dem Umstande zu, dass Wolkoff das unvollkommenere Vierordt'sche Spektralphotometer zu seinen Untersuchungen benützte.

Engelmann (14) konnte mit Hilfe des Mikrospektralphotometers die Bänder II und III in den grünen, lebenden Zellen deutlich nachweisen. Dass Reinke sie in solchen Fällen nicht gesehen hat, mag nach Engelmann z. T. auf der Beschaffenheit der Objekte beruhen. Dass er aber auch an alkoholischen Chlorophylllösungen Bd. II und III nichts finden konnte, kann nach Engelmann nur auf Fehlern des Instrumentes beruhen.

Was nun die bunten Laubblätter betrifft, so untersuchte Engelmann gelbe oder gelbgrüne Blätter, welche ihre Farbe der abweichenden Färbung der assimilierenden Chromophyllkörper verdanken und Blätter von roter oder violetter Farbe, bei welchen ausserhalb der normal oder abnorm gefärbten Chromoplasten noch besondere Farbstoffe im Blatt vorhanden sind.

Untersuchungen an der goldgelbblättrigen Varietät von *Sambucus nigra* ergaben, dass Band I zwar deutlich sichtbar, aber doch viel weniger auffällig als im Spektrum der grünen Zellen war. Die Absorptionsbänder II und III waren nicht deutlich entwickelt.

Bei Engelmann finden sich ferner einige Angaben über die Absorption von Zellmembranen. Als Beispiele werden angeführt *Evonymus japonicus*, mehrere Arten von *Agave* und *Phormium tenax*. Gewöhnlich ist die Farbe der Membranen gelblich weiss und nur in dickern Schichten auffällig. Das Mikrospektralphotometer weist jedoch leicht auch an dünnen Membranschichten die relativ stärkere Absorption der blauen und violetten Strahlen nach. Höchst intensiv, bis dunkelorange, waren die Zellhäute bei *Phormium tenax* gefärbt. Das Mikrospektralphotometer ergab selbst für die dicksten, am tiefsten

orange gefärbten Zellmembranen des Blattrandes eine nahezu absolute Durchgängigkeit für die weniger brechbaren Strahlen vom äussersten Rot bis ins Gelbgrün. Absorptionsbänder waren nicht zu bemerken.

Von ungleich grösserer Bedeutung als die Färbung der Membran ist diejenige des Zellsaftes. Die Lichtschwächung ist, wie schon der blosse Augenschein bezeugt, in diesen Fällen eine sehr bedeutende. Eine genaue Untersuchung zeigt, dass meistens die Absorption von beiden Enden gegen die Mitte des Spektrums hin allmählich wächst. Rot wird aber ausgezeichnet und auch Blau und Violett verhältnismässig schon gut durchgelassen. Auf das abweichende Verhalten einiger purpurvioletten Farben, wie sie sich z. B. in den Epidermiszellen von *Tradescantien* finden, mag nur hingewiesen werden. Hier finden sich, wie schon Kraus (53) angab, mehrere Absorptionsbänder.

Unter den 50 von Engelmann untersuchten Pflanzen gibt es viele, welche mehr als ein Drittel, ja sogar mehr als die Hälfte des zugestrahlten Lichtes beim Passieren der roten Zellen verlieren. Dass der rote Zellsaft hiebei die wesentlichste Rolle spielen wird, ist wohl zweifellos, es ist aber ebenso sicher, dass bis zu einem gewissen Grade auch durch Absorption der Membranen und des Protoplasmas, sowie durch Reflexion an den Grenzen verschieden dichter Medien Licht verloren geht, doch dürfte es sich bei der getroffenen Versuchsanordnung nur um geringe Beträge handeln.

Da von dem roten Zellsaft gerade die Strahlen am wenigsten zurückgehalten werden, welche das Chlorophyll am stärksten absorbiert, so ist es erklärlich, dass die rotblättrigen Varietäten den grünen Arten im Wachstum nicht nachstehen. Allerdings steht diesem Ausspruch Engelmanns ein solcher von Iumelle (40) entgegen, der nach gärtnerischen Erfahrungen für die rotblättrigen Varietäten ein langsameres Wachstum angibt und durch Versuche feststellte, dass die Assimilation roter Blätter hinter der grüner bedeutend zurückbleibt. Nach Griffon (23) ist bei einigen rotblättrigen Pflanzen die Assimilationsenergie bedeutend kleiner als bei den entsprechenden grünblättrigen, bei anderen dagegen in beiden Varietäten gleich gross.

Die vom Erythrophyll absorbierten Strahlen sind aber auch nicht verloren, sondern können, wie Stahl gezeigt hat, durch Umwandlung in Wärme die Transpiration fördern.

Hansen (30) stellte einige Untersuchungen an über die Absorption ultravioletter und infraroter Strahlen, die, obschon sie sich nur auf Lösungen beziehen, hier doch nicht übergangen werden können. Er fand, dass sowohl der grüne wie der gelbe Chlorophyllfarbstoff die ultravioletten Strahlen des Spektrums absorbieren und zwar der grüne vollständig, während der gelbe Farbstoff bestimmte Strahlen durchlässt. Die Absorption des grünen Farbtoffs ist sogar schon in verdünnter Lösung eine totale. Da die ultravioletten Strahlen nach Sachs (101) für die Blütenbildung von maßgebender Bedeutung sind, so bezeichnet es Hansen als nicht unwahrscheinlich, dass diese absorbierten Strahlen im Chlorophyll in diejenige Energie umgesetzt werden, welche bei der Blütenbildung Arbeit zu leisten hat.

Für die infraroten Strahlen konnte nach der angewandten Methode[1] für den grünen Farbstoff keine, für den gelben eine nur ganz schwache Absorption nachgewiesen werden. Hansen nimmt daher an, dass auch in den Blättern die infraroten Strahlen keine Absorption erfahren und dass infolgedessen auch bei heller Sonnenbestrahlung eine erhebliche Temperaturerhöhung des Gewebes nicht stattfindet. Wie sich die Blätter in dieser Beziehung tatsächlich verhalten, wurde bei Besprechung der thermischen Eigenschaften auseinandergesetzt.

Die Arbeiten von Monteverde (77), die ich erst erhielt als dieses Manuskript schon fertiggestellt war, enthalten neben umfassenden eigenen Untersuchungen auch eine Zusammenstellung der von den verschiedenen Forschern gefundenen so stark differierenden Resultate.

Unter Benützung des Sorby-Browning'schen und des Zeiss'schen Spektraloculares ergaben sich für Blätter von *Tradescantia viridis* die folgenden Resultate:

---

[1] Die Methode basiert auf der von Wiedemann (Sitzb. d. phys.-med. Soc. zu Erlangen 1887) gefundenen Tatsache, dass phosphorescierende Substanzen, welche vorher beleuchtet wurden, eine Verstärkung der Phosphorescenz erfahren, wenn sie von gewissen infraroten Strahlen des Spektrums getroffen werden.

Band	1 Blatt	2 Blätter	4 Blätter
Ia	690 – 660	695 – 640	700—610
Ib	650—641		
II	Spuren	630—610	
III	Spuren	595 – 570	600—570
IV	— —	— —	550 – 540
V	410 – 480	— —	— —
Endabsorption	von 450	von 520	von 530

Ausserdem werden noch die äussersten roten Strahlen absorbiert. Die Reihenfolge der Bänder nach der Intensität ist die folgende: Ia, V, Ib, II, III, IV. Band IV erscheint erst dann, wenn die drei ersten Bänder anfangen zusammenzufliessen. Bei sehr hellem Sonnenlicht gelang es ferner, in den Blättern von *Adiantum* ausser den angeführten Bändern noch Band VI (450—434) zu entdecken. An fast derselben Stelle hatte es schon Mann (66) beobachtet.

Nach Tschirch (115) lagern sich im lebenden Blatt 3 Spektren übereinander, dasjenige des Chlorophylls, das des Xanthocarotins und des Xanthophylls, ferner absorbiert die Blattsubstanz und zwar besonders die Zellmembran das Ultraviolett stark. Eine alkoholische Lösung der Krystalle des „Xanthocarotins" lässt das ganze Ultraviolett durch, während eine alkoholische Lösung des „Xanthophylls" das Ultraviolett absorbiert. Das Chlorophyll der Blätter ist eine Verbindung der Phyllocyaninsäure mit einem noch unbekannten Paarling. Die Phyllocyaninsäure lässt in verdünnten alkoholischen Lösungen Ultraviolett durch, absorbiert dasselbe jedoch bei starker Konzentration. Tschirch konnte ferner mit Hilfe des Quarzspektrographen im Spektrum der Phyllocyaninsäure ein neues Band entdecken in der Nähe von h Fraunhofer, welches auch in jedem Blattauszug nachzuweisen ist und sich wahrscheinlich auch im lebenden Blatte findet.

Die Fluorescenz von Chlorophyllösungen hat bekanntlich Brewster entdeckt. Stokes (111) sah die Fluorescenz an Blättern. Lebende Blätter sowohl als auch „festes Chlorophyll" zeigen nach Hagenbach (25, pg. 245) keine Fluorescenz. In gleichem Sinne sprach sich auch Lommel aus (65). Später hat jedoch Hagenbach (27) an den Blättern Fluorescenz beobachtet; sie ist allerdings bedeutend schwächer als bei der Lösung. Das Spektrum des Fluorescenzlichtes ist ferner weniger ausgedehnt als das des gelösten Blattgrüns und liegt um eine sehr merkliche Grösse nach der weniger brechbaren Seite des Spektrums verschoben. Es zeigt das feste Chlorophyll im Vergleich mit den Lösungen eine Verschiebung sowohl der Maxima der Fluorescenz oder der ihnen entsprechenden Absorptionsbänder als auch der Maxima des Fluorescenzspektrums nach dem roten Ende des Spektrums.[1]

Nach Müller (81, pg. 509) wird die Fluorescenz des Chlorophylls im lebenden Batt stärker in der Kälte und immer dann, wenn das Blatt nicht assimiliert.

---

[1] Die Angabe von Pfeffer (86 I, I. Aufl. pg. 217), dass nach Hagenbach das lebende Blatt keine Fluorescenz zeige, ist also für das Jahr 1881 nicht richtig.

Schluss.

Dem Wortlaut der Aufgabe entsprechend, habe ich die vorliegende Arbeit in einen mechanischen, einen thermischen und einen optischen Teil gegliedert.

Wegen des grossen Umfanges des zu behandelnden Stoffes musste schon gleich anfangs der Gedanke aufgegeben werden, die experimentellen Untersuchungen auf alle drei Teile auszudehnen. Im dritten, dem optischen Teile habe ich mich daher darauf beschränkt, durch eine kurze Zusammenstellung der bisherigen Resultate, eine Darstellung von dem gegenwärtigen Stande unseres Wissens auf diesem Gebiete zu geben. Im ersten und zweiten Teile konnte ich der Besprechung der vorhandenen Literatur an mehreren Stellen eigene Untersuchungen anreihen. Da die Beschreibung meiner Versuchsmethoden und die Diskussion der erhaltenen Resultate ziemlich viel Platz beanspruchte, so mussten natürlich diese Kapitel einen verhältnismässig grösseren Raum einnehmen als die übrigen, obschon ihre Resultate für die Pflanzengeographie oft von geringerem Interesse sind.

Diese, durch die Verhältnisse bedingte Ungleichartigkeit in der Behandlung macht ein zusammenfassendes Schlusskapitel notwendig, in welchem, nach dem gegenwärtigen Stand unseres Wissens, eine kurze Übersicht über die mechanischen, thermischen und optischen Eigenschaften der Laubblätter und damit in Verbindung eine Betrachtung über die Bedeutung der genannten Eigenschaften für die Pflanzengeographie gegeben werden soll.

Alle bisherigen Untersuchungen haben eine grosse Harmonie zwischen Bau und Funktion ergeben. Der durch die Erfahrung immer mehr und mehr bestätigte Satz von dem zweckmässigen Bau nicht nur der Blätter, sondern aller Organe ist mit der Zeit zu einem so sicher fundamentierten Axiom geworden, dass er zu einem Ausgangspunkt für neue Forschungen und zu einem Prüfstein für die Richtigkeit gewonnener Resultate, mit Fug und Recht benützt werden darf.

Jede Untersuchung über die physikalischen Eigenschaften der Laubblätter hat daher neben ihrer r e i n p h y s i k a l i s c h e n Seite, welche nur darauf hinausgeht, die physikalischen Eigenschaften zu studieren, auch noch eine b i o l o g i s c h e. Diese biologische Seite besteht darin, zu untersuchen, w o z u die gefundenen Eigenschaften dienen, — denn an die Endfrage, w a r u m die Blätter einen bestimmten Bau haben, können wir noch nicht herantreten, wir müssen uns einstweilen damit begnügen, nach einer kausal finalen Erklärung zu suchen.

Jede Untersuchung über die physikalischen Eigenschaften der Laubblätter sollte in ihrem rein physikalischen Teile eine q u a n t i t a t i v e und nicht nur eine qualitative sein. Gerade dann, wenn die biologische Bedeutung einer bestimmten Eigenschaft klargelegt werden soll, genügt es nicht zu wissen, in welcher Richtung diese Eigenschaft einen Einfluss ausübt, sondern es ist unerlässlich, die Stärke dieses Einflusses zu bestimmen, wenn seine Bedeutung für das Leben erkannt werden soll.

Da an den verschiedenen Standorten die mechanische Inanspruchnahme der Laubblätter eine äusserst verschiedene ist und da der Schutz vor mechanischer Verletzung unter gleichen äussern Umständen häufig auf verschiedene Art erreicht werden kann, — wie ja oft auf stark abweichenden Wegen dasselbe Ziel zu erlangen ist —, so muss die Biologie dem Studium der mechanischen Eigenschaften der Laubblätter grosses Interesse entgegenbringen, insbesondere da durch die Beweglichkeit der Blätter auch die Grösse der Transpiration und Assimilation beeinflusst werden muss.

Im Hinblick auf die eminente Bedeutung, welche der Wärme und dem Licht für die wichtigsten Lebensvorgänge der Pflanze zukommt, ist die Kenntnis der optischen und thermischen Eigenschaften gerade für den Biologen und Pflanzengeographen von ausserordentlicher Wichtigkeit.

Bezüglich der **mechanischen** Eigenschaften bilden die submersen in strömendem Wasser vorkommenden Blätter eine biologische Gruppe, deren Vertreter sowohl morphologisch als anatomisch eine grosse Übereinstimmung aufweisen.

Durch eine einfache Überlegung waren wir zu der Ansicht gekommen, dass im allgemeinen ein Schutz gegen mechanische Verletzung auf zweifache Weise zu erlangen ist. Diejenigen Blätter, welche durch grosse Biegungsfähigkeit jedem mechanischen Angriff auszuweichen suchen, haben den einen Weg betreten. Auf einem ganz andern Wege gelangte eine zweite Gruppe zu demselben Ziel; hier finden wir Formen, die sich gerade durch grosse Steifheit und Unbeweglichkeit auszeichnen, die also durch eine möglichst widerstandsfähige Konstruktion allen Angriffen zu trotzen suchen. Welcher der beiden Wege eingeschlagen wird, das hängt neben individuellen Eigentümlichkeiten von den übrigen Faktoren ab, welche zugleich mit der mechanischen Beanspruchung das betreffende Blatt beeinflussen.

So wären vom rein mechanischen Standpunkt aus in stark fliessendem Wasser Pflanzen mit kleinen, dicken, dachziegelartig sich deckenden Blättern nicht unmöglich. Mit dieser Gestaltung würde aber den Forderungen einer ausgiebigen Atmung und Assimilation so stark widersprochen, dass das Fehlen solcher Formen nicht auffallen kann,[1] besonders weil das bandförmige, langausgezogene Strömungsblatt durch seine grosse Biegsamkeit eine Verkleinerung der Angriffsfläche erzielt, wie sie auch auf anderm Wege nicht besser erreicht werden kann. Da aber eine vollständige Reduktion der der Wasserströmung dargebotenen Fläche nicht möglich ist, so bleiben auch bei der zweckmässigsten morphologischen Gestalt noch Zug- und Scheerkräfte bestehen, welche das Blatt zerreissen und zerfetzen würden, wenn es nicht durch einen entsprechenden innern Bau hievor geschützt wäre. Übereinstimmend mit der allgemein centripetalen Anordnung in zugfesten Organen finden wir daher auch hier einen axilen, mittelst mechanischer Zellen verstärkten Strang, ausserdem sind aber noch subepidermale Bastrippen vorhanden, deren Funktion sicherlich in erster Linie in der Erzeugung einer hinreichenden Schubfestigkeit besteht.

Die bisherigen Untersuchungen waren aber alle rein qualitativer Natur. Eine Bestimmung der Zugfestigkeit der Blätter und der durch das Wasser ausgeübten Zugkraft ist bis jetzt nicht vorgenommen worden. Aus der Tatsache des Vorkommens von Blättern in stark strömendem Wasser weiss man ja allerdings, dass sie die dort vorhandenen mechanischen Beanspruchungen ohne Schaden ertragen; die exakte Forschung gibt sich aber mit solchen Betrachtungen nicht zufrieden, sie verlangt quantitative Untersuchungen, die nur durch die Anwendung physikalischer Methoden ermöglicht werden.

Den Schwimmblättern kommt in mechanischer Hinsicht die Aufgabe zu, sich selbst oder auch noch andere Teile der Pflanze über Wasser zu halten. Die Kraft, welche das Schwimmen ermöglicht, ist der Auftrieb des Wassers, und dieser muss, um ein Untersinken des Blattes zu verhindern, den in entgegengesetztem Sinne wirkenden Kräften etwas überlegen sein, denn bei völliger Gleichheit wäre wohl ein Schweben, nicht aber ein Schwimmen möglich. Diese entgegengesetzt wirkenden Kräfte bestehen in dem Gewicht der Spreite samt der mit ihr verwachsenen Organe und, in fliessendem Wasser und bei bodenwurzelnden Pflanzen zudem noch in dem nach unten gerichteten Zug, welcher durch die Wirkung der Strömung hervorgerufen wird.

Eine zahlenmässige Bestimmung der Schwimmfähigkeit wurde bis jetzt nicht vorgenommen.

Es ist eine äusserst zweckmässige Erscheinung, dass bei den grossen Schwimmblättern der Schwerpunkt des verdrängten Wassers, der Schwerpunkt der Spreite und der Ansatzpunkt des Stieles nahe zusammenfallen, da hiedurch eine stabile Lage des Blattes gesichert ist, durch welche allein ein ruhiges, die Oberfläche vor Benetzung sicherndes Schwimmen, bei bewegtem Wasser ermöglicht wird.

---

[1] Ausnahmen von dieser Gestaltung stehen mit besondern äussern Verhältnissen in Zusammenhang, so kommen bekanntlich die Podostemonaceen, unter welchen sich Formen mit kleinen, dicht gedrängten Blättern finden, in stark lufthaltigem Wasser vor.

Die Schwimmblätter dürfen aber, um ihrer Funktion dauernd gerecht werden zu können, nicht nur ein kleines spezifisches Gewicht haben, sie müssen auch eine genügende mechanische Festigkeit besitzen, da die unruhige Oberfläche des Wassers eine zarte Spreite leicht zerfetzen kann, und da die Regentropfen und Hagelkörner die Spreite mit ganzer Wucht treffen müssen. Der dicke Blattquerschnitt ermöglicht nicht nur das Unterbringen zahlreicher Lufträume, sondern er steht auch wegen seines derben Baues im Dienste der mechanischen Festigung. Durch Versuche habe ich nachgewiesen, dass die *Nymphaea*blätter einer Verletzung durch Hagelkörner einen mehr wie doppelt so grossen Widerstand entgegensetzen als Blätter von *Aesculus* oder *Acer*.

Unter den an windigen Standorten wachsenden Luftblättern können wir zwei Gruppen unterscheiden, in die eine gehören leicht biegsame Blätter, in die zweite solche mit festem, widerstandsfähigem Bau. Was die Blätter der letzten Gruppe betrifft, so bieten sie, wegen der Kleinheit der Spreite, dem Wind eine nur geringe Angriffsfläche dar; durch polsterartigen Wuchs der ganzen Pflanze oder durch dichte Stellung der Blätter wird ferner häufig eine gegenseitige Überdeckung der Spreiten erreicht, wodurch eine noch stärkere Reduktion der von der Pflanze dem Wind dargebotenen Fläche eintritt. Eine Beschädigung der Blätter durch den Wind kann nun im allgemeinen auf verschiedene Weise geschehen. Der Wind vermag das Blatt, wenn es schwach genug ist, direkt vom Baume zu reissen, oder aber er kann indirekt durch das Aneinanderschlagen von Blatt an Blatt oder Zweig an Blatt mechanische Verletzungen hervorbringen, falls die Blätter nicht durch entsprechenden Bau geschützt sind. Bei den eben genannten kleinen, derben Blättern ist ein Abreissen durch den Wind absolut unmöglich, selbst dann, wenn er bis zum stärksten Orkan sich steigern würde. Versuche mit *Picea*nadeln haben gezeigt, dass zum Abreissen ein Gewicht von 271 gr erforderlich ist, eine Kraft, welche bei der äusserst geringen Angriffsfläche selbst von dem stärksten Orkan bei weitem nicht erreicht wird. Selbst für die bedeutend grössere Spreite des starren, immergrünen *Ilex*blattes haben die Messungen die Unmöglichkeit einer direkten Beschädigung durch den Wind erwiesen. Auch Verletzungen, welche durch das Aneinanderschlagen der Blätter an benachbarte Blätter oder an Zweige entstehen könnten, sind wegen der grossen Steifheit von Blatt und Zweig wohl ausgeschlossen. Da solche Blätter sowohl gegen zu starke Transpiration als auch gegen mechanische Beschädigung gesichert sind, so ist es leicht begreiflich, dass sie häufig an recht exponierten Standorten angetroffen werden.

Im Gegensatz zu den eben behandelten Blättern zeichnet sich die Mehrzahl der Kerner'schen Windblatttypen durch grosse Beweglichkeit aus. Die Spreitenfläche wird hier nicht schon in geringer Grösse angelegt, die Reduktion erfolgt erst, wenn der Wind weht und wird im allgemeinen um so grösser, je stärker die Einwirkung des Windes ist.

Die abweichende äussere Gestalt der verschiedenen Windblätter legt nun die Vermutung nahe, dass nicht alle Typen gleich widerstandsfähig sind. Was die direkte Wirkung des Windes betrifft, die also in einem Abreissen des Blattes von dem Zweig besteht, so können wir nach meinen Messungen wohl behaupten, dass die langen, biegungsfähigen Monocotylenblätter den äussersten Grad der Anpassung aufweisen. Die Messungen an *Arundo Donax* zeigten, dass die Verbindung von Stamm und Blatt eine ganz ausserordentlich solide ist und wir gehen wohl nicht fehl, wenn wir bei den übrigen morphologisch ähnlichen Blättern auch entsprechende Festigkeitsverhältnisse voraussetzen. In gleichem Sinne wirkt die starke Verkleinerung der Angriffsfläche. Numerische Bestimmungen liegen allerdings noch nicht vor, doch geben die Fig. 44 und 45 wenigstens eine Vorstellung. Aus diesen Gründen ist ein Losreissen solcher Blätter durch den Wind ein Ding der Unmöglichkeit und auch eine Verletzung durch Aneinanderschlagen ist teils durch den Habitus der ganzen Pflanze, teils durch den soliden Blattbau ausgeschlossen.

Bei der Mehrzahl der Dicotylenblätter spielt bei der Verkleinerung der Angriffsfläche die Biegungfähigkeit des Stieles eine ganz wesentliche Rolle. Gerade bei vielen *Populus*blättern, nach denen Kerner auch einen seiner Windblatttypen benannt hat, ist die leichte Beweglichkeit des Stiels besonders auffallend. (Diese Eigenschaft hat übrigens, soweit sie auf einer leichten Torsionsfähigkeit beruht, mit der Abplattung der Stiele nichts zu tun). Trotzdem nun die feste Spreite in keiner Weise die Bestrebungen des Stiels unterstützt, so wurde doch an *Populus nigra* bei Zunahme der Windstärke von 0

auf 10, eine Verkleinerung der Angriffsfläche von 10,2 auf 1,2 gemessen. Auf das eben geschilderte Blatt übt nun selbst ein Orkan von 30 m/sec Windgeschwindigkeit einen Druck von nur ca. 60 gr aus, während zum Abreissen eine beinahe viermal so grosse Kraft erforderlich ist. Während nun ein Lostrennen durch den Wind nicht zu befürchten ist, so macht das starke Rauschen der bewegten Blätter auf eine andere Gefahr aufmerksam, auf eine Verletzung der Spreiten durch Aneinanderschlagen. Aber auch in diesem Punkte fehlt es nicht an zweckmässigen Einrichtungen. Vor allem verdient hier die interessante Erscheinung Erwähnung, dass, wie aus Fig. 28 hervorgeht, eine gegenseitige Überdeckung der Blätter erfolgt; hiedurch wird aber erreicht, dass bei Zunahme der Windstärke über ein gewisses Maß hinaus das Aneinanderschlagen der Blätter und somit auch die Gefahr einer Verletzung abnimmt. Ausserdem zeichnen sich solche Blätter häufig durch einen soliden Bau oder durch den Besitz von Pufferzellen aus, welch' letztere vielleicht in ähnlichem Sinne wirksam sein dürften.

Das, demselben Typus beigezählte Betulablatt zeigt analoge Verhältnisse. Im Anschluss an das eben Gesagte ist eine Angabe von Steenstrup interessant, nach welcher der erste Baumwuchs der Moore, — die eben wegen des spärlichen Vorkommens hoher Gewächse dem Winde stark ausgesetzt sind — von *Betula alba* und *Populus tremula* gebildet wurde.

Andere, zu demselben Typus gezählte Blätter sind weit weniger an windige Standorte angepasst. So vermag das durch eine grosse Spreitenfläche ausgezeichnete Blatt von *Acer Pseudoplatanus* gewöhnlichen Winden und selbst Stürmen von 20 m/sec Windgeschwindigkeit trefflich zu widerstehen, während bei einer Steigerung der Windgeschwindigkeit auf 30 m/sec die Widerstandsfähgkeit des Blattes sehr zweifelhaft wird.

Sehr vermindert wird die Gefahr, wenn auch die Spreite durch grosse Biegsamkeit sich auszeichnet, ein Fall, der sich bei den zum *Fraxinus*typus gezählten Blättern verwirklicht findet. Zahlenmässige Belege für die Widerstandsfähigkeit von Vertretern des genannten Typus liegen nun allerdings bis zur Stunde noch nicht vor. Meine Beobachtungen über die Wirkung eines heftigen Gewittersturmes an Platanen und Rosskastanien lassen jedoch die Überlegenheit der geteilten Aesculusblätter deutlich erkennen.

Die Einrichtungen, welche vor Windverletzung schützen, sichern meistens auch gegen Regen und Hagel. Bei Blättern, welche dem Boden, der Wasseroberfläche oder einem andern nicht nachgiebigen Substrate aufliegen, ist allerdings das Umgekehrte der Fall. Solche Blätter werden, da sie eben nicht ausweichen können, von der ganzen Wucht des Stosses getroffen und müssen notwendigerweise Schaden leiden, falls sie nicht durch eine solide Konstruktion geschützt sind. Die dem Boden aufliegenden Grundblätter werden nun aber meist durch die weiter oben inserierten Stengelblätter gedeckt, so dass nur ein stark reduzierter Stoss sie treffen kann. Die grossen Schwimmblätter zeichnen sich durch eine derbe Spreite aus; dasselbe ist auch der Fall bei den steifen, an starren Zweigen sitzenden, kleinen Blättern, die zwar nicht durch eine feste Unterlage, wohl aber durch ihre grosse Steifheit sich ebenfalls in einer exponierten Lage befinden.

Was speziell die Wirkungen des Regens auf Blätter betrifft, die keiner festen Unterlage aufliegen, so haben die nach physikalischen Methoden ausgeführten Untersuchungen von Wiesner gezeigt, dass die Schilderungen von Stahl und andern sehr übertrieben waren; mehr als ein Zittern des Laubes und der Zweige ist, nach Wiesner, als direkte mechanische Wirkung selbst des stärksten Tropenregens nicht wahrnehmbar. Bezüglich der Wirkungen des Hagels liegen meines Wissens keine exakten Untersuchungen vor. Wiesner fand die Blätter tropischer Bäume im allgemeinen gegen Stoss weniger widerstandsfähig als die unserer Holzgewächse, worin er eine Anpassung an den Hagel vermutet.

Bei den bisher besprochenen Untersuchungen handelte es sich mehr um gröbere Anpassungen; im Gegensatz hiezu hatte ich bei meinen Bestimmungen der Steifigkeits- und Festigkeitsverhältnisse der Blattstiele vor allem die Absicht, feineren Konstruktionsverschiedenheiten nachzuspüren.

Es hat sich hiebei gezeigt, dass die spezifische Steifigkeit der Stiele d. h. die Steifigkeit pro Längeneinheit im allgemeinen um so grösser ist, je länger der Stiel ist; die Steifigkeit nimmt sogar, wie

aus dem Verlauf der betreffenden Kurve deutlich zu ersehen ist, bedeutend stärker zu als die Stiellänge. Die Zweckmässigkeit dieser Erscheinung leuchtet ein. Mit der Verlängerung des Stiels wird meist der Inhalt und folglich auch das Gewicht der Spreite grösser, der Hebelarm, an dem es wirkt, länger und daher schon im Ruhezustand das Moment der biegenden Kraft stärker; bei Wind werden die Unterschiede noch wesentlich gesteigert. Von der eben genannten Regel machen die gefiederten Blätter eine Ausnahme, indem ihre Stiele[1] bei gleicher Länge weniger steif gebaut sind als bei den übrigen Blättern. Vom teleologischen Standpunkt aus ist dies leicht zu verstehen, da der Hebelarm des Schwerpunktes bei einer endständigen Spreite länger oder doch zum mindesten nicht kürzer ist als der Stiel, während bei einem gefiederten Blatt der Hebelarm des Schwerpunktes sämtlicher Teilspreiten bedeutend kürzer ist als der Stiel. Dass übrigens die Beziehung zwichen Stiellänge und Steifigkeit sich nicht in die Gestalt einer mathematischen Formel kleiden lässt, wird schon durch die Tatsache wahrscheinlich gemacht, dass die Festigkeitsansprüche, welche an gleichlange Stiele gestellt werden, oft recht verschiedene sind. In Übereinstimmung mit dieser theoretischen Forderung finden wir denn auch in der Regel bei gleichlangen Stielen die grösste Steifigkeit mit der grössten Spreitenfläche verbunden.

Aber selbst die Steifigkeit ein und desselben Stieles ist keine konstante Grösse, sondern abhängig von der Richtung, in welcher die Kraft wirkt, eine Eigenschaft, welche durch den nicht radiären Bau des Stielquerschnittes bedingt wird.

Im grossen und ganzen sind Blätter mit grösserer spezifischer Steifigkeit auch fester angewachsen. Die extremen Unterschiede in der Steifigkeit der untersuchten Blätter sind viel grösser, als die Unterschiede in der Abreissfestigkeit derselben Blätter. Die kritische Stelle, d. h. die Stelle, an welcher der Stiel reisst, liegt an der Stielbasis, falls die Kraft in der Richtung nach der Zweigbasis wirkt.

Der spezifische Torsionswiderstand nimmt im grossen und ganzen mit dem Stielquerschnitt zu. Von allen untersuchten Blattstielen besitzen einige Pappelarten die grösste Torsionsfähigkeit, was jedoch nicht durch die Abplattung der Stiele bedingt ist.

Das Losreissen gesunder Blätter durch die direkte Wirkung des Windes muss nach den ausgeführten Messungen als absolut unmöglich bezeichnet werden, falls wir es nicht mit einem heftigen Orkan zu tun haben, und auch in diesem Falle ist nur bei relativ wenigen Blätern die Möglichkeit einer Lostrennung zuzugeben.

Was in Bezug auf die **thermischen** Eigenschaften für die Biologie die grösste Bedeutung hat, das ist die Temperatur des Blattes. Diese wird aber in erster Linie durch die Wärmezufuhr und Wärmeabgabe bedingt und ist ausserdem eine Funktion des Emissions- und Absorptionsvermögens, sowie der spezifischen Wärme und der Leitungsfähigkeit des untersuchten Körpers; ferner spielen die im Innern der Pflanze vorgehenden chemischen Prozesse eine Rolle, insofern sie von Wärmeproduktion oder Wärmeverbrauch begleitet sind. Bei einem Überblick über die Erdoberfläche sehen wir, dass die genannten Faktoren sowohl hinsichtlich der klimatischen Verhältnisse als auch in Bezug auf den Blattbau selbst sehr starken Verschiedenheiten unterworfen sind.

Wir können gleich eine Scheidung vornehmen zwischen Wasser- und Landpflanzen, indem die ersteren und insbesondere die submersen Gewächse, wegen der relativ geringen täglichen und jährlichen Wärmeschwankungen des Wassers, nur kleinen Temperaturdifferenzen ausgesetzt sind. Die täglichen Wärmeschwankungen an der Oberfläche der Seen betragen im Sommer kaum 2—3° und in grösseren Seen ist die Bodentemperatur konstant. Messungen der Temperatur von submersen und Schwimmblättern fehlen noch vollständig. Die extremsten Temperaturen in Bezug auf die obere Grenze finden wir entschieden in den tropischen Wüsten, in denen Bodentemperaturen bis zu 85° gemessen wurden, während andererseits in Sibirien das Thermometer bis zu 60° unter Null sinkt. An offenen, ungeschützten Stellen sind die Temperaturschwankungen am stärksten und es befinden sich daher die Wüstenpflanzen und die Gewächse der Hochgebirge an besonders exponierten Standorten.

Über die Temperatur der Blätter können wir uns nun natürlich auch an Hand der genauesten und vollständigsten meteorologischen Tabellen nicht genügend unterrichten. An direkten Messungen,

[1] Die Blattspindel wird hier mit zum Stiel gerechnet.

welche allein zu einem Ziele führen können, fehlte es bis dahin vollständig. Die Methode, welche ich zur Bestimmung der Blatttemperatur angewendet habe, macht nicht im mindesten Anspruch auf grosse Genauigkeit, konnte es sich doch bei diesen Untersuchungen nur um eine erste, allgemeine Orientierung handeln. Es zeigte sich, dass unter gleichen äussern Verhältnissen succulente Blätter bedeutend stärker erwärmt werden als gewöhnliche, dünne Spreiten. So beobachtete ich in einer *Sempervivum*blattrosette bei starker Sonnenstrahlung eine Temperatur von ca. 50°, die diejenige des berussten Thermometers weit überstieg, während ein *Betula*blatt, ceteris paribus, nur ca. 28° zeigte. In einem andern Falle stieg bei *Sempervivum* das Thermometer bis zu 52°, also bis zu einer Temperatur, die auf andere Pflanzen bereits tödlich wirkt. Die nächtliche Abkühlung ist bei Succulenten ebenfalls grösser, wenn die Differenz auch lange nicht solch' enorme Werte erreicht. *Sempervivum* zeigte am Morgen eine minimale Temperatur von 13°, *Betula* zu ungefähr derselben Zeit eine solche von 18,6°. Die Temperaturschwankungen stiegen im Verlauf eines Tages bis auf 36,6°, während dünne Blätter Differenzen von nur 13° aufwiesen.

Es ist nun interessant, dass die Succulenten, welche von allen Pflanzen gegen grosse Temperaturschwankungen am allerwenigsten geschützt sind, sich nicht etwa an Standorten von möglichst gleichmässiger Temperatur finden, sondern in Gebirgen, an exponirten Felsen und in Wüsten, also an Stellen, die sich ebenfalls durch starke Temperaturschwankungen auszeichnen. Die Pflanze sucht also nicht durch die Wahl eines gleichmässig temperierten Mediums das zu ersetzen, was ihr infolge ihres eigenartigen Baues abgeht.

Wenn wir nun aber nach dem Wozu dieses eigentümlichen thermischen Verhaltens der Succulenten fragen, so kann hierauf heute noch keine befriedigende Antwort gegeben werden; soviel ist allerdings sicher, dass durch die grosse nächtliche Abkühlung eine starke Taubildung verursacht wird, welche in den trockenen Wüstengebieten natürlich einen wesentlichen Vorteil bietet.

Etwas mehr als über die Temperatur selbst ist über die Faktoren bekannt, welche dieselbe beeinflussen. Was in erster Linie die Intensität der Strahlung betrifft, so nimmt dieselbe nach den Berechnungen Angots, unter sonst gleichen Bedingungen bis zum Äquator hin beständig zu, und auch bei vertikaler Erhebung über die Erdoberfläche findet ein bedeutendes Wachsen der Intensität statt, das allerdings sehr stark von der Sonnenhöhe abhängt. Die grosse Strahlungsenergie in den Hochgebirgen ist durch die bedeutende Diathermansie der Luft bedingt, welche zum Teil schuld ist an der für die Berge so charakteristischen Differenz zwischen Boden- und Lufttemperatur. Nach den Angaben von Christ mass Saussure am Montblanc bei 6,2° Lufttemperatur eine Erwärmung der Erdoberfläche oder des berussten Thermometers bis auf 87°. Ebenso wichtig als die Intensität der Strahlen ist die Stärke, mit welcher dieselben von den Blättern absorbiert werden. Aus den Versuchen von Maquenne ist zu ersehen, dass das Absorptionsvermögen zwischen weiten Grenzen schwankt. Dünne Blätter absorbieren allgemein weniger als dicke, die immergrünen daher mehr als die sommergrünen, die ausgewachsenen stärker als die jungen. Sehr beachtenswert ist ferner, dass die Oberseite vieler Blätter stärker absorbiert als die Unterseite, da hienach dem Blatte in seiner natürlichen Lage die grösstmöglichste Menge von strahlender Energie zugeführt wird. Diejenige Substanz des Blattgewebes, welche den Hauptanteil an der Absorption trägt, ist das Wasser. Die Absorption des Chlorophylls verhält sich zwar zu der des Wassers wie 9 : 10, kommt derselben also beinahe gleich; da nun aber das Chlorophyllgewicht nur einen geringen Bruchteil des Wassergewichtes eines Blattes beträgt, — in dem untersuchten Fall nur $^1/_{90}$ —, so muss die Absorption der Wärme durch die Blätter zum weitaus grössten Teile auf dem Wassergehalt beruhen. Die Absorption hängt auch von der Natur der Strahlung ab; die Körper absorbieren um so mehr Wärmestrahlen, je weniger brechbar dieselben sind. Hieraus ergibt sich die wichtige Folgerung, dass die Bodenstrahlung von den Blättern viel mehr ausgenutzt wird, als die intensiven Strahlen der Sonne.

In der engsten Beziehung zur Absorption steht die Diathermansie. Aus der grossen Zahl meiner Messungen ergab sich, dass im Mittel ca. 70% der auffallenden Strahlen vom Blatte durchgelassen werden, der Rest wird teils reflektiert, teils absorbiert. Die durchgehenden Strahlen weichen in verschiedener Beziehung von den auffallenden ab, sowohl in der Quantität als auch in der Qualität und

in der Richtung. Parallel auffallende Strahlen divergieren nach ihrem Durchgang durch das Blatt, so dass ein zweites, im Schatten des ersten stehendes Blatt von um so weniger Strahlen getroffen wird, je grösser die Entfernung zwischen den beiden Blättern ist; es wurde durch Versuche festgestellt, dass die gleiche Fläche, welche 9 mm hinter dem Blatt 70% der auf das Blatt fallenden Strahlen erhielt, in einer Distanz von 90 mm von nur noch 60% getroffen wurde.

Die Diathermansie nimmt im grossen und ganzen mit Zunahme der Blattdicke ab; Sonnenblätter absorbieren daher mehr Strahlen als Schattenblätter derselben Species. Der Strahlungsschatten hinter einem Blatte ist also um so stärker, je dicker das Blatt ist und nimmt ferner noch zu mit der Distanz vom Blatte.

Über die Qualität der durchtretenden Strahlen liegen erst Untersuchungen vor an dem sichtbaren Teile des Spektrums. Die Endforderung einer exakten Behandlungsweise geht natürlich dahin, von jeder Wellenlänge den Prozentsatz der Absorption angeben zu können. Von diesem Ziele sind wir allerdings noch sehr weit entfernt. Näheres über die Absorption im sichtbaren Teile wird weiter hinten zur Sprache kommen, hier sei nur bemerkt, dass nach Messungen von Langley die Intensität der Wärmestrahlung am stärksten im Rot ist, und dass weiter aus der Langley'schen Kurve sich ergibt, welche Bedeutung den verschiedenen Wellenlängen für die Erwärmung durch Absorption zukommt.

Dass, ceteris paribus, die Färbung des Blattes auf seine Temperatur einen Einfluss ausüben wird, ist nach dem eben mitgeteilten nicht mehr zu bezweifeln; es geht daraus z. B. hervor, dass ein Blatt von reinem Spektralrot sich weniger stark erwärmt als ein solches von reinem Spektralgrün, falls alle übrigen Bedingungen, darunter natürlich auch die Quantität der absorbierenden Strahlen dieselbe ist. Komplizierter gestalten sich die Verhältnisse, wenn wir es, wie das in der Natur immer der Fall ist, nicht mit einer reinen Spektralfarbe zu tun haben.

Was den Einfluss der Panachierung betrifft, so habe ich gefunden, dass die panachierten Stellen, ceteris paribus, mehr Strahlen passieren lassen als die grünen, was ohne weiteres verständlich ist. In Bezug auf die Bedeutung der Rotfärbung für die Diathermansie haben meine Untersuchungen zu keinem sichern Resultat geführt. Stahl hat durch seine Versuche mit Kakaobutter gezeigt, dass die roten Stellen sich stärker erwärmen als die grünen, die grauen dagegen schwächer. Falls die roten Bezirke von den grünen nur dadurch sich unterscheiden, dass der Zellsaft in dem einen Falle farblos, in dem andern rot ist, so sind die Stahl'schen Resultate leicht zu verstehen, da ein gefärbter Saft mehr absorbieren muss als ein sonst gleicher farbloser. Allerdings wäre dann die Erhöhung der Temperatur kein Privilegium der roten Farbe, sondern sie würde auch den andern Farben und sogar in noch höherem Maße zukommen. Um übrigens eine physikalische Erklärung der Erscheinung geben zu können, müssen weitere Versuche angestellt werden, dieselben sind auch erwünscht, um die thermische Bedeutung der verschiedenen Arten der Rotfärbung, vor allem der herbstlichen Rötung klarzulegen.

Nach Stahl besitzt die Pflanze in dem wärmeabsorbierenden Blattrot ein Mittel, die Stoff- und Kraftwechselprozesse zu beschleunigen, was ja gerade bei den Schattenblättern in hohem Maße wünschbar erscheinen muss. Auch die Kerner'schen Beobachtungen verdienen lebhaftes Interesse, da bei denjenigen Ebenenpflanzen, welche eine rote Färbung angenommen hatten, im Hochgebirge das beste Gedeihen beobachtet wurde. Die bisherigen Bestimmungen über die Grösse des Temperaturunterschiedes in verschieden gefärbten Blattbezirken wurden nach einer wenig zuverlässigen Methode ausgeführt, so dass diese Resultate nur mit Vorsicht aufgenommen werden dürfen.

Was unsere Kenntnisse über die thermische Bedeutung der Haarüberzüge betrifft, so wissen wir kaum mehr als uns das Tragen von Kleidern und Hüten und die Verwendung der Sonnenschirme gelehrt hat. Durch das Haarkleid wird das Blatt von einer Decke überzogen, die gleich wie ein Filzhut vor zu starker Insolation schützt. Eine dichte Behaarung stellt aber einen schlechten Wärmeleiter dar, der ähnlich wie ein Tierpelz einer Wärmeabgabe durch Leitung entgegenarbeitet. Auf diese Weise wird somit vor allem einer raschen Temperaturschwankung vorgebeugt und, falls die äussere Einwirkung nicht zu lange dauert, auch ein Schutz vor schädlichen Extremen erzielt. Die äusserst dichte Behaarung vieler stark exponierter Pflanzen und die Tatsache, dass bei manchen Arten mit Zunahme der Exposition eine

Verstärkung des Haarkleides zu beobachten ist, erklärt sich somit. Zu einem tieferen Verständnis sind allerdings Messungen notwendig, die bis dahin vollständig fehlen und die allein die Bedeutung der Behaarung an und für sich sowohl als auch den Nutzen der so verschiedenen Arten der Behaarung ins rechte Licht setzen können. Sehr interessant ist es, dass an den gleichen Standorten Pflanzen vorkommen, welche nicht nur jeglicher Behaarung entbehren, sondern durch die Ausbildung einer starken Succulenz die an sich schon sehr bedeutenden Temperaturschwankungen noch erhöhen.

An manchen trockenen, exponierten Stellen zeichnet sich die Vegetation aus durch die Abscheidung von ätherischem Öl, so dass die betreffenden Pflanzen von einer duftenden Hülle umgeben werden. Nach den Ergebnissen der Tyndall'schen Versuche hielt man sich für berechtigt, dieser Erscheinung eine physiologische Bedeutung zuzusprechen. Aus den Untersuchungen von Tyndall dürfen wir aber nur schliessen, dass eine Absorption stattfindet; ob dieselbe unter den in der Natur vorhandenen Verhältnissen so gross ist, dass sie auf die Temperatur oder auf die Transpiration einen Einfluss hat, das können natürlich nur diesbezügliche Messungen zeigen.

Weiter sind von Bedeutung für die Absorption und die Temperatur des Blattes die Stellung der Spreite zu den Sonnenstrahlen und die mehr oder weniger glatte Beschaffenheit der Blattoberfläche. Durch einfache Drehung des Blattes kann die dargebotene Angriffsfläche stark reduziert und damit sowohl einer schädlichen Temperaturerhöhung als auch einer zu grossen nächtlichen Ausstrahlung vorgebeugt werden. Durch die Ausbildung einer glatten Oberfläche wird das Reflexionsvermögen gesteigert und daher unter sonst gleichen Bedingungen die Intensität der ins Blattinnere dringenden Strahlen geschwächt. Der für die Tropen so charakteristische Glanz der Blätter ist vielleicht in diesem Sinne als eine zweckmässige Anpassung aufzufassen. Bestimmungen über den Einfluss der zuletzt genannten Faktoren auf die Temperatur des Blattes fehlen übrigens noch vollständig.

Was das Reflexionsvermögen im allgemeinen betrifft, so wurde von Maquenne gezeigt, das bei der von ihm benützten Wärmequelle etwa 25% der senkrecht auffallenden Strahlen reflektiert wurden.

Versuche von Maquenne und Mayer ergaben das wichtige Resultat, dass das Emissionsvermögen der Blätter ebenso gross ist wie beim Lampenruss. Dies ist für die durch nächtliche Ausstrahlung verursachte Temperaturerniedrigung und daher für die Taubildung von höchster Bedeutung. Die einzelnen Blätter zeigen natürlich Differenzen; besonders konnte der Behaarung auf experimentellem Wege ein bedeutender Einfluss zuerkannt werden. In Übereinstimmung mit der längst bekannten Tatsache, dass rauhe Flächen stärker ausstrahlen als glatte, haben die Messungen von Sachs bei behaarten Blättern im allgemeinen eine stärkere Taubildung nachgewiesen als bei glatten. Die Untersuchungen von Sachs bedürfen aber noch sehr der Erweiterung und Vervollständigung. Die Konstatierung einer stärkeren Ausstrahlung bei behaarten Blättern scheint der früher erwähnten schützenden Wirkung des Haarkleides zu widersprechen. Die Taubildung beweist aber nur eine Abkühlung der Haarspitzen und die schlechte Leitungsfähigkeit der Haare selbst macht es wahrscheinlich, dass diese Abkühlung sich nicht auf das Blattgewebe erstreckt, gleich wie ja die grosse Ausstrahlung der obersten Schneeschicht nicht verhindert, dass die Schneedecke als Ganzes den Boden vor Abkühlung in sehr hohem Maße schützt. Gerade hier können wir übrigens sehen, dass man bei der Wärme immer genau zwischen Strahlung und Leitung zu unterscheiden hat. Die Taubildung muss dann auch von allen übrigen Faktoren, welche auf die Emission einwirken, stark beeinflusst werden. Es sei hier nur an die Veränderung der Spreitenstellung gegen den Horizont erinnert, zugleich aber auch bemerkt, dass ihre Bedeutung weder für die Emission noch für die Taubildung quantitativ untersucht wurde.

Auf die Emissionsgrösse eines Körpers wirkt nun aber nicht nur seine eigene Beschaffenheit, sondern auch diejenige der Umgebung in hohem Grade ein. Die Taubildung ist daher, ceteris paribus, um so stärker, je geringer die Bewölkung ist und je höher die Wolken über der Erde schweben.

Die Taubildung muss auch auf die Blatttemperatur notwendigerweise einen Einfluss ausüben. Denn einmal strahlt ein betautes Blatt, wie durch Versuche gefunden wurde, weniger Wärme aus als ein trockenes, und dann wird dem Blatt durch die Kondensation des Wasserdampfes Wärme mitgeteilt.

In Übereinstimmung hiemit hat man auch beobachtet, dass, sobald Taufall eingetreten ist, die Temperatur am Boden wenig oder gar nicht mehr sinkt.

Den **optischen** Eigenschaften der Laubblätter wurde bisher viel mehr Aufmerksamkeit geschenkt, als den mechanischen und thermischen, was damit zusammenhängt, dass die grosse physiologische Bedeutung des Lichtes schon längst erkannt wurde. Das Haupt- und Endziel, um das sich hier alles dreht, besteht darin, die Qualität und Quantität des vom Blattgewebe absorbierten Lichtes zu bestimmen. Dies kann natürlich nur auf indirektem Wege geschehen, nämlich durch Vergleichen der Qualität und Intensität des auffallenden Lichtes mit derjenigen des reflektierten und durchfallenden.

Was das reflektierte Licht betrifft, so ist darüber noch sehr wenig bekannt. Man hat früher angenommen, dass es in Bezug auf die Qualität mit dem durchfallenden übereinstimme. Eine einfache Überlegung musste jedoch das Unrichtige dieser Annahme zeigen und tatsächlich ist denn auch durch Vierordt experimentell nachgewiesen worden, dass das Absorptionsspektrum eine andere Zusammensetzung hat als das Reflexionsspektrum. Im Absorptionsspektrum walten nämlich die minder brechbaren Strahlen von A—D, im Reflexionsspektrum aber die brechbareren Strahlen von E—F verhältnismässig mehr vor. Die Region D—E hat dagegen in beiden Spektren nahezu dieselbe relative Helligkeit. Die grüne Farbe des vom Blatt reflektierten und durchgelassenen Lichtes wird zunächst dadurch bedingt, dass die relative Gesamthelligkeit in den Regionen D—G des Absorptions- und Reflexionsspektrums etwas grösser ist als im Sonnenspektrum. Dazu kommt, dass das reflektierte und durchgelassene Licht von C—D geringer ist als im Sonnenlicht.

Bestimmungen über die Intensität des reflektierten Lichtes liegen nicht vor. Bei den Blättern handelt es sich meist um diffuse und regelmässige Reflexion. Die grösste Schwierigkeit bietet natürlich die Messung des diffus nach allen Richtungen zurückgeworfenen Lichtes. Bis zur Stunde lässt sich somit noch nicht sagen ein wie grosser Prozentsatz des auffallenden Lichtes durch Reflexion an der Blattoberseite verloren geht. Biologisch interessant ist die Tatsache, dass stark reflektierende Spreiten sich bei den Sonnenblättern finden, besonders in den Tropen, während die Schattenblätter sich häufig durch Einrichtungen auszeichnen, um selbst sehr schief auffallende Strahlen noch auszunützen.

Von den durchtretenden Strahlen gilt es die Qualität, die Quantität und die Richtung zu bestimmen. Dass parallele Strahlen beim Passieren der Spreite divergent werden, haben wir bei Besprechung der thermischen Eigenschaften gesehen; nach optischen Methoden wurden hierüber noch keine Untersuchungen angestellt. Bei photometrischen Messungen des durchtretenden Lichtes hat man sich übrigens der genannten Richtungsveränderung wohl bewusst zu sein.

Was nun die Resultate der qualitativen Spektralanalyse betrifft, so beziehen sich die meisten Untersuchungen nicht auf das Blatt, sondern auf alkoholische oder ätherische Blattauszüge. Die Absorptionsbänder lebender Blätter stimmen nach Zahl und Bau mit denen der Lösung überein, alle Bänder sind jedoch etwas gegen das rote Ende hingerückt. Es hat sich ergeben, dass das Absorptionsspektrum lebender grüner Blätter aus sieben Bändern und einer Endabsorption besteht. Die fünf ersten Bänder befinden sich in der weniger brechbaren Hälfte des Spektrums: I ist am dunkelsten und liegt zwischen B und C, bei hellem Licht löst es sich in zwei auf, II liegt zwischen C und D, III rechts von D und Band IV vor E, V vor F, Band VI ist das schwächste und wird erst sichtbar, wenn die ersten drei Bänder anfangen zusammenzufliessen. Ausser diesen Bändern werden noch die äussersten roten Strahlen absorbiert.

Es ist beachtenswert, dass nach Versuchen Engelmanns das Maximum der primären Assimilationskurve grüner Zellen mit dem Hauptabsorptionsband I zusammenfällt. Wegen der bedeutenden Absorption der zwischen B und C liegenden Strahlen, kann natürlich im Innern des Blattes die stärkste Assimilation nicht in derselben Spektralregion stattfinden, sie wird nach Grün hin verschoben.

An roten Blättern wurde festgestellt, dass von dem roten Zellsaft gerade die Strahlen am wenigsten zurückgehalten werden, welche das Chlorophyll am stärksten absorbiert. Hieraus erklärt es sich auch, dass die rotblättrigen Varietäten den grünen Arten im Wachstum nicht — oder doch nur wenig — nachstehen, trotzdem oft ein Drittel, ja selbst mehr als die Hälfte des zugestrahlten Lichtes beim

Passieren der roten Zellen verloren geht. Vierordt hat nachgewiesen, dass von dem auffallenden Lichte nur $^1/_{2330}$ bis $^1/_{3270}$ durch die vier von ihm untersuchten Blättern hindurchging. Die Dicken der Blattspreiten, mit denen er experimentierte, schwankten zwischen 0,08 und 0,18 mm. Leider sind die Untersuchungen nach dieser Methode nicht weiter ausgedehnt worden, so dass weder über den Einfluss der Blattdicke noch über den der Haare etc. Genaueres bekannt ist.

Nach der Wiesner'schen Methode sind dann später solche Bestimmungen durchgeführt worden. Die Methode von Vierordt ist allerdings bedeutend mühsamer und umständlicher, sie gewährt aber — was äusserst wichtig ist — den Vorzug, dass die Intensität des ganzen sichtbaren Spektrums, bei Wiesner aber nur diejenige der photographisch wirksamen Strahlen gemessen werden kann.

Dass die Sonnenblätter mehr Licht absorbieren als die Schattenblätter geht schon aus der grösseren Dicke ihrer Spreiten hervor. Die Messungen Linsbauers haben gezeigt, dass sich sehr starke Unterschiede finden. Das transparenteste Schattenblatt liess 67mal so viel Licht durch als das *Cytisus*-Sonnenblatt. Bei den untersuchten Sonnenblättern gab es solche, welche bis zu 20mal mehr Licht durchliessen als andere, während bei den untersuchten Schattenblättern das Maximum nur 7mal grösser war als das Minimum. Bei gleichbleibender Intensität des Lichtes kann sich ein und dasselbe Blatt durch Schiefstellung vor einer Beschädigung durch zu starke Insolation schützen, da die Beleuchtung dem Cosinus des Einfallswinkels proportional ist, ein Gesetz, das für die Lichtstrahlen natürlich ebenso wie für die Wärmestrahlen Gültigkeit haben muss.

Die lichtabhaltende Wirkung des nicht grünen Gewebes, die sog. Gewebewirkung, beträgt nach Linsbauer 68%, hiebei ist allerdings die Reflexion an der Oberfläche mitgezählt. Die Chlorophyllwirkung beträgt 26,4%; hiezu ist jedoch noch zu bemerken, dass es sich nicht um die Wirkung des Chlorophylls allein handelt, denn mit der Pigmenteinlagerung sind noch andere Änderungen, — wie z. B. das Auftreten von Stärke —, verbunden, welche die Transparenz beeinflussen können. In Bezug auf die Bedeutung anderer sehr häufig vorkommender Schutzmittel sei erwähnt, dass bei *Primula auricula* die kombinierte Wirkung von Haarüberzug und wachsartiger Inkrustation 0,9% des auffallenden Lichtes betrug.

Da die Kohlensäureassimilation ein endothermischer Prozess ist, welcher nur bei Zuführung von Engerie vor sich gehen kann, so stand zu erwarten, dass dasselbe Blatt bei lebhafter Entfaltung der Assimilationstätigkeit mehr Strahlen absorbieren wird, als wenn dieselbe ruht. Dass es sich nur um kleine Werte handeln kann ist klar, denn die Verbrennungswärme der im Blatt erzeugten Stärke muss ein Maß abgeben für die kinetische Energie des Lichtes, welche sich bei der Stärkebildung in potentielle Energie umsetzt. Es lässt sich danach auf theoretischem Wege berechnen, dass von den auffallenden Strahlen zu der Stärkebildung nur 1% verwendet wird, ein Resultat, das sich durch die Versuchsergebnisse bestätigt.

Wir dürfen übrigens nicht vergessen, dass alle die Einrichtungen, denen wir mit unsern Instrumenten eine Bedeutung für den Licht- oder Wärmegenuss nachweisen können, nicht ausreichen werden, um die Beziehungen zwischen Exposition und Bau des Blattes teleologisch aufzudecken; denn neben all' den sichtbaren Schutzmitteln gibt es auch noch unsichtbare, durch die Konstitution des Plasmas bedingte. Während aber chlorophyllführende Gewächse auch in der stärksten natürlich vorkommenden Belichtung gedeihen können, bewegt sich ihre Anpassung an schwaches Licht in engeren Grenzen. Bald hört für grüne Pflanzen die Möglichkeit des Vorkommens auf, da eben selbst bei vollkommener Ausnutzung der dargebotenen Strahlung und bei den bescheidensten Ansprüchen, das Leben unmöglich wird, sobald die Nahrungsproduktion dem Verbrauch nicht mehr gleichkommt.

Literatur-Verzeichnis.

1. Angot: Recherches théoretiques sur la distribution de la chaleur à la surface du globe. Annales du bureau Cent. Mét. de France Tome I, 1883, erschienen 1885.
2. Angström: Wied. Ann. 26, 1885.
3. — Intensité de la radiation solaire. Upsola 1900.
4. Askenasy: Über die Temperatur, welche Pflanzen im Sonnenlicht annehmen. Bot. Ztg. 1875, pg. 441.
5. — Beiträge zur Kenntnis des Chlorophylls und einiger dasselbe begleitender Farbstoffe. Bot. Ztg. 1867, pg. 225.
6. Balsamo: Ricerche sulla penetrazione delle radiazioni nelle piante. Parte prima. Bullett. Soc. botan. italiana Firenze 1892. Die Originalabhandlung befindet sich im Bullettino della Soc. dei Naturalisti di Napoli, vol. V, 1892.
7. van Beek: Compt. rend. 1840, Jan.
8. Bonnier: Note sur la comparaison entre la chaleur dégagée par les végétaux et la respiration. C. R. hebd. de la Soc. de biologie, Paris 9sér. t. 4, 1892.
9. — Sur la mesure de la chaleur dégagée par les végétaux Bullet. de la soc. bot. de France, t. XXVII, 14. Mai, 1880.
10. — Sur les quantités de chaleur dégagées et absorbées par les végétaux, Compt. rend. 1886, 102_1, pg. 448.
11. Delpino: Rivista botanica dell' anno 1876, pg. 39, vergl. auch Sitzb. d. bot. Ver. d. Prov. Branburg 1857, pg. 84.
12. Detlefsen: Die Lichtabsorption in assimilierenden Blättern. Arb. d. Würzb. Inst. 3.
13. Dutrochet: Ann. sc. nat. 2sér., 13, 1840.
14. Engelmann: Die Farben bunter Laubblätter etc. Bot. Ztg. 1887.
15. — Unters. über die quantitativen Beziehungen zwischen Absorption des Lichtes und Assimilation in Pflanzenzellen. Bot. Ztg., 1884.
16. A. Fischer: Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXII.
17. Flammarion: Physical and meteorological researches, principally on solar rays, made at the station of agricultural climatology at the oberservatory of Juvisy (Experiment Station Record of the United States Departement of Agriculture, Vol. X, pg. 103 und 203). Ref. in Bot. C. Beiheft 1899—1900, pg. 224.
18. Franz: Pogg. Ann. 94, 101.
19. Gerland: Über die Einwirkung des Lichtes auf das Chlorophyll. Pogg. Ann. Bd. 143, 1871, pg. 585.
20. Gerland und Rauwenhoff: Beiträge zur Kenntnis des Chlorophylls und einiger seiner Derivate, Pogg. Ann. Bd. 143, 1871, pg. 231.
21. Glaisher: On the amount of the radiation of heat. Phil. trans. 1847.

22. Göppert: Über Wärmeentwicklung in der lebenden Pflanze, 1832.
23. Griffon: Ann. sc. nat. sér. VIII, t. X, 1899.
24. Haberlandt: Physiologische Pflanzenanatomie, Leipzig 1896.
25. Hagenbach: Untersuchungen über die optischen Eigenschaften des Blattgrüns. Pogg. Ann. 141, 1870, pg. 245.
26. — Pogg. Ann. Bd. 146, 1872, pg. 508.
27. — Fernere Versuche über Fluorescenz, Pogg. Ann. 1874. Jubelbd., pg. 303.
28. Hann: Lehrbuch der Meteorologie 1901.
29. Hansen: Die Vegetation der ostfriesischen Inseln, Darmstadt 1901.
30. — Die Farbstoffe des Chlorophylls 1889.
31. Hansgirg: Zur Biologie der Laubblätter, Sitzb. d. Königl. böhmischen Ges. d. Wiss. zu Prag. Mathem. natw. Klasse, Jahrgang 1900, XX.
32. Hartig: Holzuntersuchungen, Altes und Neues, Berlin 1901
33. Hartley: Journal of the Chemical Society, London 1891.
34. Hassack: Bot. C. 1886, Bd. IV.
35. v. Hayck: Über eine biologisch bemerkenswerte Eigenschaft alpiner Kompositen, österr. bot. Ztschr., Jahrg. L, 1900, Nro. 10. Ref. in Bot. C. 1901, Nro. 85, pg. 169.
36. Hintz: Über den mechanischen Bau des Blattrandes mit Berücksichtigung einiger Anpassungserscheinungen zur Verminderung der lokalen Verdunstung. Nova acta der K. Leop. Car. Akademie Bd. 54, 1889.
37. Hunger: Über die Funktion der oberflächlichen Schleimbildungen im Pflanzenreich. Inaug. Diss. Leiden 1899. Ref. in Bot. C., Beiheft 1898—99, pg. 497.
38. Jahn: Über Schwimmblätter, Fünfstück's Beiträge zur wissensch. Bot., Bd. I, Abt. 2, 1896, Ref. in Iust. 1896, 1.
39. Johow: Vegetationsbilder aus Westindien und Venezuela, II. Eine Excursion nach den kochenden Seen auf Dominica (Kosmos 1884, II).
40. Jumelle: Compt. rend. 1890, Bd. 111, pg. 380.
41. Jungner: Klima und Blatt in der Regio alpina Flora 1894.
42. Kayser: Lehrbuch der Physik.
43. Keeble: The hanging foliage of certain tropical trees, Annales of Botany 1895. Ref. in Bot. C. 1896, 65, pg. 389.
44. Kerner: Pflanzenleben, 2. Aufl.
45. Kirchhoff: Pogg. Ann. 109, 1860.
46. Knoblauch: Pogg. Ann. 74, 1847.
47. — Pogg. Ann. 65 (1845), 71 (1847), 109 (1868).
48. — Pogg. Ann. 70, 71.
49. Kny: Über die Anpassung der Laubblätter an die mechanischen Wirkungen des Regens und Hagels. Ber. D. B. G. 1885, pg. 207 und 258.
50. — Zur physiologischen Bedeutung des Anthocyans. Estratto dagli Atti del Congresso botanico internazionale 1892.
51. — Optische Erscheinungen an Selaginella, Bot. Ztg. 1871.
52. Kraus: Über die Bestandteile des Chlorophyllfarbstoffs und ihre Verwandten, Sitzb. d. phys. med. Soc. zu Erlangen, Juni und Juli 1871.
53. — Zur Kenntnis der Chlorophyllfarbstoffe. Stuttgart 1872.
54. Kundt: Pogg. Ann. Jubelbd. 1874, pg. 617.
55. Landolt und Börnstein: Physikalisch-chemische Tabellen, II. Aufl.
56. Langley: American (Silliman) Journal, March 1883.
57. Lepel: Berl. Ber. 11, pg. 1146, 1878.
58. Leslie: Inquiry into the nature of heat, 1804.

59. Less: Wied. Ann. Ergänzungsbd. VIII, 1878.
60. Lidforss: Zur Physiologie und Biologie der wintergrünen Flora, Bot. C. Bd. 68, 1896.
61. Linsbauer: Unters. über die Durchleuchtung von Laubblättern, Bot. C., Beihefte Bd. X, Heft 2, 1901.
62. Lippitsch: Über das Einreissen der Laubblätter der Musaceen und einiger verwandter Pflanzen. Österr. bot. Ztschr. 1889, Nro. 6 und 7.
63. Lommel: Sitzb. d. phys.-med. Soc. zu Erlangen, 26. Juli 1871.
64. — Gefärbte Gelatinblättchen als Objekte für das Spektroskop. Pogg. Ann. 1871, Band 143, pg. 656.
65. — Zoller, ökonomische Fortschritte, Bd. V, pg. 74.
66. Mann: Transactions of the botanical society, Edinburgh 1891, Vol. 18.
67. Maquenne: Recherches sur la détermination des pouvoirs absorbants et diffusifs des feuilles. Ann. Agron. T. VI, 1880.
68. — Compt. rend. 1875, Mai.
69. Mayer: The radiation and absorption oft heat by leaves. American Journal 3 Series 45, 1893, pg. 340.
70. Melde: Pogg. Ann. Bd. 126, pg. 277.
71. Melloni: Ann. chim. phys. (2), 75, 1840.
72. — Compt. rend. 20, 1845; Pogg. Ann. 52 (1841), 65 (1845).
73. — Pogg. Ann. Bd. 53, 1841, pg. 49.
74. — Pogg. Ann. 24, 1832 und 27, 1833.
75. — Pogg. Ann. 35, 1835.
76. — Pogg. Ann. 28, 1833.
77. Monteverde: Das Absorptionsspektrum des Chlorophylls Acta Horti Petropolitani Tom. XIII, 1893—94.
78. Morren, Ed.: Dissertation sur les feuilles vertes et colorées, Gand 1858.
79. Müller, J.: Das Grün der Blätter, Pogg. Ann. 142, 1871, pg. 615.
80. Müller, Luise: Grundzüge einer vergleichenden Anatomie der Blumenblätter, Nova acta der Ksl. Leop.-Carl. Akad., Bd. 59, 1893.
81. Müller, N. J. C.: Handbuch d. Allg. Bot.
82. — — Bot. Unters. I, 1877.
83. Müller-Thurgau: Landw. Jahrb. XI, 1882.
84. Overton: Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 33
85. Petit: Le pétiole des Dicotylédones. Mém. de la soc. des sciences de Bordeaux, 3sér., 3, T. 18, 1887.
86. Pfeffer: Pflanzenphysiologie.
87. Pick: Über die Bedeutung d. roten Farbstoffs bei d. Phanerogamen und die Beziehung desselben zur Stärkewanderung, Bot. C. 1883, Bd. XVI.
88. De la Provostaye et Desains: Ann chim phys. sér. 3, t. 34, 1852.
89. De la Provostaye et Desains: Ann chim phys. sér. 3, t. 28, 1850.
90. Raciborski: Über die vermeintliche Anpassung der Blätter an Regen und Hagelstösse. Separatabdruck aus Sitzb. d. Krakauer Akad. d. Wiss. math.-natw. Kl., Bd. XVII. Ref. in Bot. C. 1888, 36, 200.
91. Rameaux: Des températures végétales, Ann. sc. nat. 2sér. t. 19, 1843
92. v. Rechenberg: Journ. f. prakt. Chemie N. F. Bd. 22, 1880; Bunge, Lehrb. der physiolog. Chemie, pg. 70.
93. Reinke: Photometr. Unters. über d. Absorption d. Lichtes in den Assimilationsorganen. Bot. Ztg., 1886.
94. — Ber. D. B. G. 1883.

95. Sachs: Vorlesungen über Pflanzenphys. 1882.
96. — Abhandlgn. 1, pg. 112 oder Flora 1864.
97. — Ein Beitrag zur Kenntnis d. Ernährungstätigkeit d. Blätter. Arb. d. bot. Inst. Würzburg, Bd. III, 1884.
98. — Landw. Vers.-Stat., Bd. III.
99. — Über die Durchleuchtung d. Pflanzenteile, Sitzb. d. Wiener Akad., 1861, 43, 2.
100. — Ein Beitrag zur Kenntnis d. Ernährungstätigkeit d. Blätter. Arb. d. bot. Inst. Würzburg., Bd. III, 1884.
101. — Über die Wirkung d. ultravioletten Strahlen auf die Blütenbildung, Arb. d. Würzb. Inst. 3, 1887.
102. Saposchnikoff: Über die Grenzen der Anhäufung der Kohlehydrate in dem Blatt Ber. D. B. G., 1891.
103. Schenck: Die Biologie d. Wassergewächse, Bonn 1886.
104. Schimper: Pflanzengeographie, Jena 1898.
105. Schönn: Über Blattgrün und Blumenblau, Fresenius, Ztschr. für analyt. Chemie, Bd. IX, 1870, pg. 327.
106. Schumacher: Physik d. Pflanze, Berlin 1867.
107. Schwendener: Das mechanische Prinzip im anatom. Bau der Monocotylen, Leipzig 1874.
108. Simmler: Pogg. Ann., Bd. 115.
109. Stahl: Regenfall und Blattgestalt. Annal. du Jardin Bot. de Buitenzorg, Vol. XI, 1893.
110. — Über bunte Laubblätter. Annal. du Jardin Bot. de Buitenzorg, Vol. XIII, 2, 1896.
111. Stokes: Pogg. Ann. Ergänzungsbd. IV.
112. Taliew: Arbeiten d. Naturforscherges. d. Kais. Univ. Charkow, 1897. Ref. in Bot. C. 1898, 74, pg. 130.
113. Timiriazeff: Ber. d. Deutsch Chem. Ges. VI, 328.
114. Tschirch: Unters. über das Chlorophyll und einige seiner Derivate, Wied. Ann. Bd. 21, 1884, pg. 370.
115. — Der Quarzspektrograph und einige damit vorgenommene Unters. von Pflanzenfarbstoffen. Ber. D. B. G. 1896, pg. 76.
116. Tyndall: Phil. Trans. 1864.
117. — Wärme, 4. Aufl., 1894.
118. — Wärme, deutsche Übersetzung nach der zweiten Auflage des Originals, 1867.
119. Ursprung: Beitrag zur Erklärung des excentrischen Dickenwachstums, Ber. d. D. B. G. 1901.
120. Valentin: Gebrauch d. Spektroskops, 1863.
121. Vierordt: Die Anwendung d. Spektralapparates zur Photometrie d. Absorptionsspektren und zur quantitativen chemischen Analyse, Tübingen 1873.
122. — Die Anwendung des Spektralapparates zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes, Tübingen 1871.
123. Vogel: Pogg. Ann. 34, pg. 146, 1868.
124. — Berl. Ber. 11, p. 913 und 1363, 1878.
125. — Über die Verschiedenheit d. Absorptionsspektra eines und desselben Stoffes. Ber. d. Deutsch Chem. Ges. 1878, pg. 913, 1363.
126. de Vries: Matériaux pour la connaissance de l'influence de la température sur les plantes 1870. Archiv. Néerlandaises, Bd. 5.
127. Wartmann: Ann. chim. phys. (3), 34.
128. Weinzierl: Beiträge zur Lehre von der Festigkeit und Elastizität vegetabilischer Gewebe und Organe Sitzb. d. Kais. Akad. d. Wiss. zu Wien, Bd. 76, 1877. Ref. in Iust. 1877, pg. 547.
129. Wegscheider: Ber. D. B. G. 1884.
130. Wiedemann: Wied. Ann. Bd. 5, 1878.

131. Wiesner: Einige neue Tatsachen, welche zur mechan. Erklärung der spontanen Nutationen und der fixen Lichtlage der Blätter herangezogen werden können. Bot. Ztg. 1884, pg. 657.
132. — Die natürl. Einrichtungen zum Schutze des Chlorophylls der lebenden Pflanzen. Festschrift der K. K. zoolog. bot. Ges. in Wien 1876.
133. — Ann. du Jard. Bot d. Buitenzorg XIV, 1897. Ref. in Bot. C. 1897, 70, pg. 364.
134. — Beiträge zur Kenntnis des tropischen Regens. Sitzb. der Wiener Akademie 1895, 104, 1, pg. 1397.
135. — Photometrische Untersuchungen auf pflanzenphysiologischem Gebiete. Sitzb. d. Wiener Akademie 1893, 102, 1.
136. — Unters. über d. photochemische Klima von Wien, Kairo und Buitenzorg, Denkschrift. der Wiener Akademie, Bd. 64, 1897.
137. Winkelmann, Handb. der Physik.
138. Wollenweber: Vergl. Anat. d. Schwimmblätter. Diss. Freiburg i. Br. 1897.
139. Wollny: Forsch. Agr. 20, 1897/98, pg. 111, Ref. in Iust. 1897_1, pg. 107.
140. Wolkoff: Die Lichtabsorption in den Chlorophylllösungen. Naturhist.-medic. Verein in Heidelberg. Neue Folge I, 1877, pg. 204.

Figuren-Erklärung.

Bedeutung der Farben in den Querschnittskizzen:

braun = verholzter Teil der Gefässbündel,
rot = Bast,
gelb = peripher gelegene Zellschicht mit verdickten Wänden, meist Collenchym.

Tafel I.

Fig. 1. *Ilex Aquifolium* L., Stielmitte, Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 2. *Carpinus Betulus* L., Stielmitte, Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 3. *Fagus silvatica* L., Stielmitte, Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 4. *Salix babylonica* L., Stielmitte, Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 5. *Populus Simonii* Carr., Stielmitte, Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 6. *Betula alba* L., Stielmitte, Vergr. ca. 25 : 1.
Fig. 7. *Alnus glutinosa* Gärtn., Stielmitte, Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 8. *Populus tremula* L., No. 9, Stielmitte, Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 9. *Syringa vulgaris* L., Stielmitte, Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 10. *Polygonum Sachaliense* F. Schmidt, Stielmitte, Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 11. *Populus alba* L., Stielmitte, Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 12. *Tilia argentea DC.*, Stielmitte, Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 13. *Populus tremula* L., No. 7, Stielmitte, Vergr. ca. 25 : 1.
Fig. 14. *Populus balsamifera* L., Stielmitte, Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 15. *Populus tremula* L., No. 8, Stielmitte, Vergr. ca. 25 : 1.
Fig. 16. *Hedera Helix* L., No. 16, Stielmitte, Vergr. ca. 12 : 1.

Tafel II.

Fig. 17. *Paulownia imperialis* Sieb. et Zucc., Stielmitte, Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 18. *Ailanthus glandulosa* Desf., Basales Intern., Mitte des Intern., Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 19. „ „ „ fünftes Intern. über der Stielbasis, Mitte des Intern., Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 20. „ „ „ neuntes „ „ „ „ „ „ „ „ „ 12 : 1.

Tafel III.

Fig. 21. *Acer Pseudoplatanus* L., No. 12, Stielmitte, Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 22. *Aesculus Hippocastanum* L., Stielmitte, Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 23. *Acer Negundo* L., mittleres Internodium, Mitte des Internodiums, Vergr. ca. 25 : 1.
Fig. 24. *Aralia chinensis* L., No. 1, Mitte eines Internodiums, Vergr. ca. 12 : 1.
Fig. 25. Apparat zur Vergleichung der Torsionsfähigkeit, Vergr. 1 : 14.

Tafel IV.

Fig. 27. Zweig von *Populus nigra* L. (gelbblättrige Var.) bei Windstille, Vergr. 1 : 6.
Fig. 28. Derselbe Zweig in Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw., Vergr. 1 : 6.
Fig. 29. *Syringa vulgaris* L., Zweig in Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw., Vergr. 1 : 6.
Fig. 30. *Acer Pseudoplatanus* L., Varietät, Blatt bei Windstille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 31. Dasselbe Blatt, Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw. senkrecht gegen Oberseite, Vergr. 1 : 5.
Fig. 32. Blatt desselben *Acer,* bei Windstille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 33. Dasselbe Blatt, Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw. senkrecht gegen Unterseite, Vergr. 1 : 5.
Fig. 34. *Robinia Pseudacacia* L., Blatt bei Windstille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 35. Dasselbe Blatt in Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw., Wind senkrecht gegen Oberseite, Vergr. 1 : 5.

Tafel V.

Fig. 36. *Ilex Aquifolium* L., Zweig bei Windstille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 37. Derselbe Zweig in Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw., Vergr. 1 : 5.
Fig. 38. *Aesculus Hippocastanum* L., Blatt bei Windstille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 39. Dasselbe Blatt, Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw. senkrecht gegen Unterseite, Vergr. 1 : 5.
Fig. 40. Blatt desselben *Aesculus* bei Windssille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 41. Dasselbe Blatt, Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw. senkrecht gegen Oberseite, Vergr. 1 : 5.
Fig. 42. *Salix babylonica* L., Zweig bei Windstille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 43. Derselbe Zweig in Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw., Vergr. 1 : 5.
Fig. 44. *Agrostis pulchella,* Windstille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 45. „ „ in Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw., Vergr. 1 : 5.

Tafel VI.

Fig. 46. *Betula alba* L. Zweig bei Windstille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 47. Derselbe Zweig in Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw., Vergr. 1 : 5.
Fig. 48. *Sorbus aucuparia* L., Zweig in Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw., Vergr. 1 : 5.
Fig. 49. *Buxus sempervirens* L., Zweig bei Windstille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 50. Derselbe Zweig in Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw., Vergr. 1 : 5.
Fig. 51. *Picea excelsa DC.,* Zweig bei Windstille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 52. Derselbe Zweig in Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw., Vergr. 1 : 5.
Fig. 53. *Tamarix gallica* L., Zweig bei Windstille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 54. Derselbe Zweig in Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw., Vergr. 1 : 5.

Tafel VII.

Fig. 55. *Ulmus campestris* L., Zweig bei Windstille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 56. Derselbe Zweig in Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw., Wind senkrecht gegen Oberseite, Vergr. 1 : 5.
Fig. 57. *Castanea sativa* Mill., Zweig bei Windstille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 58. Derselbe Zweig in Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw., Vergr. 1 : 5.
Fig. 59. *Corylus Avellana* L., Zweig bei Windstille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 60. Derselbe Zweig in Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw., Vergr. 1 : 5.
Fig. 61. *Fagus silvatica* L., Zweig bei Windstille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 62. Derselbe Zweig in Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw., Vergr. 1 : 5.
Fig. 63. *Carpinus Betulus* L., Zweig bei Windstille, Vergr. 1 : 5.
Fig. 64. Derselbe Zweig in Wind von 10 $\frac{m}{sec}$ Geschw., Vergr. 1 : 5.

Tafel VIII.

Erklärung auf pg. 5.

Tafel IX.

Erklärung auf pg. 74.

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 5.

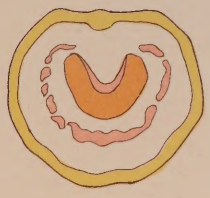


Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 14.

Fig. 9.

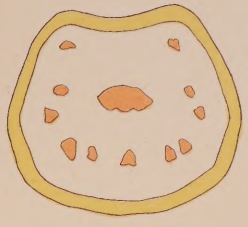


Fig. 10.

Fig. 16.

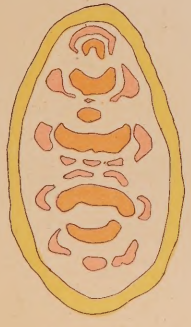


Fig. 15.

Fig. 11.

Fig. 12.

Fig. 13.

Lith. v. Carl Ebner, Stuttgart.

Verlag von Erwin Nägele, Stuttgart.

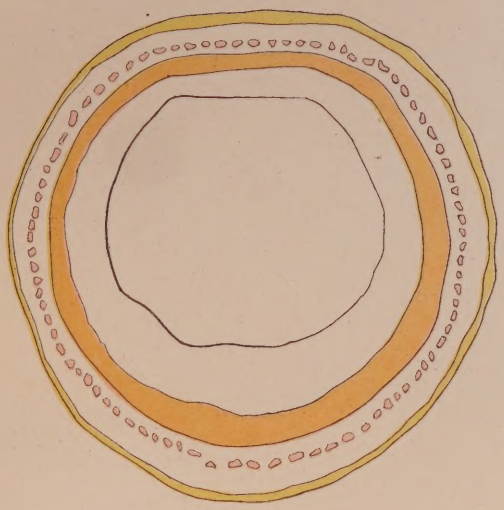


Fig. 17.

Fig. 19.

Fig. 18.

Fig. 20.

Lith. v. Carl Ebner, Stuttgart.

Verlag von Erwin Nägele, Stuttgart.

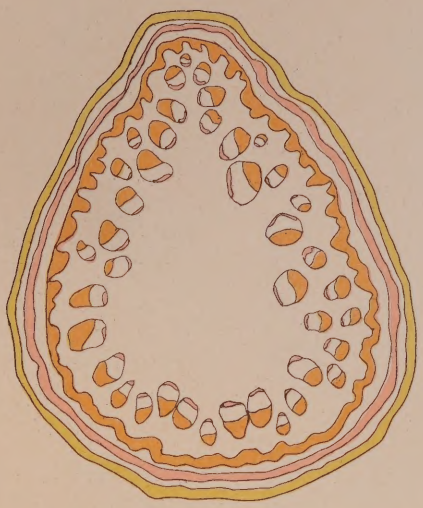


Fig. 24.

Fig. 22.

Fig. 21.

Fig. 23.

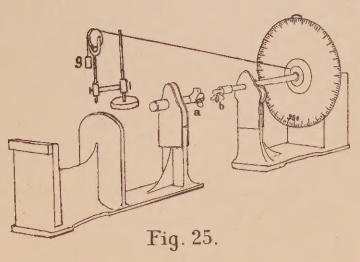


Fig. 25.

Lith. u. Carl Ebner, Stuttgart.

27.

28.

29.

30.

31.

32.

33.

34.

35.

Verlag von Erwin Nägele, Stuttgart.

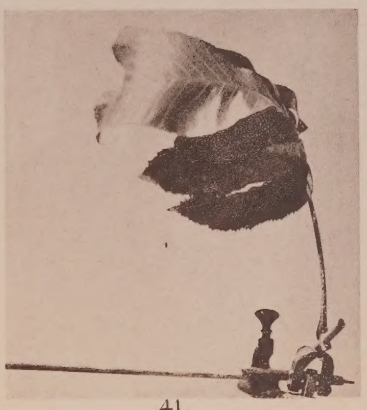
36.

37.

38.

39.

40.

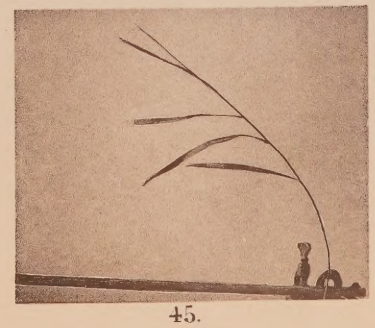


41.

42.

43.

44.



45.

Verlag von Erwin Nägele, Stuttgart.

46.

47.

48.

49.

50.

51.

52.

53.

54.

Verlag von Erwin Nägele, Stuttgart.

55.

56.

57.

58.

59.

60.

63.

61.

62.

64.

Verlag von Erwin Nägele, Stuttgart.

Tafel VIII a

Biegungsmoment

6000
5000
4000
3000
2000
1000

Ailanthus
Paulownia
Aesculus
Acer Pseudoplat. N°12
Juglans
Broussonetia
Liriodendron
Acer Negundo

100 mm 200 300 400 500 600 700 Stiellänge

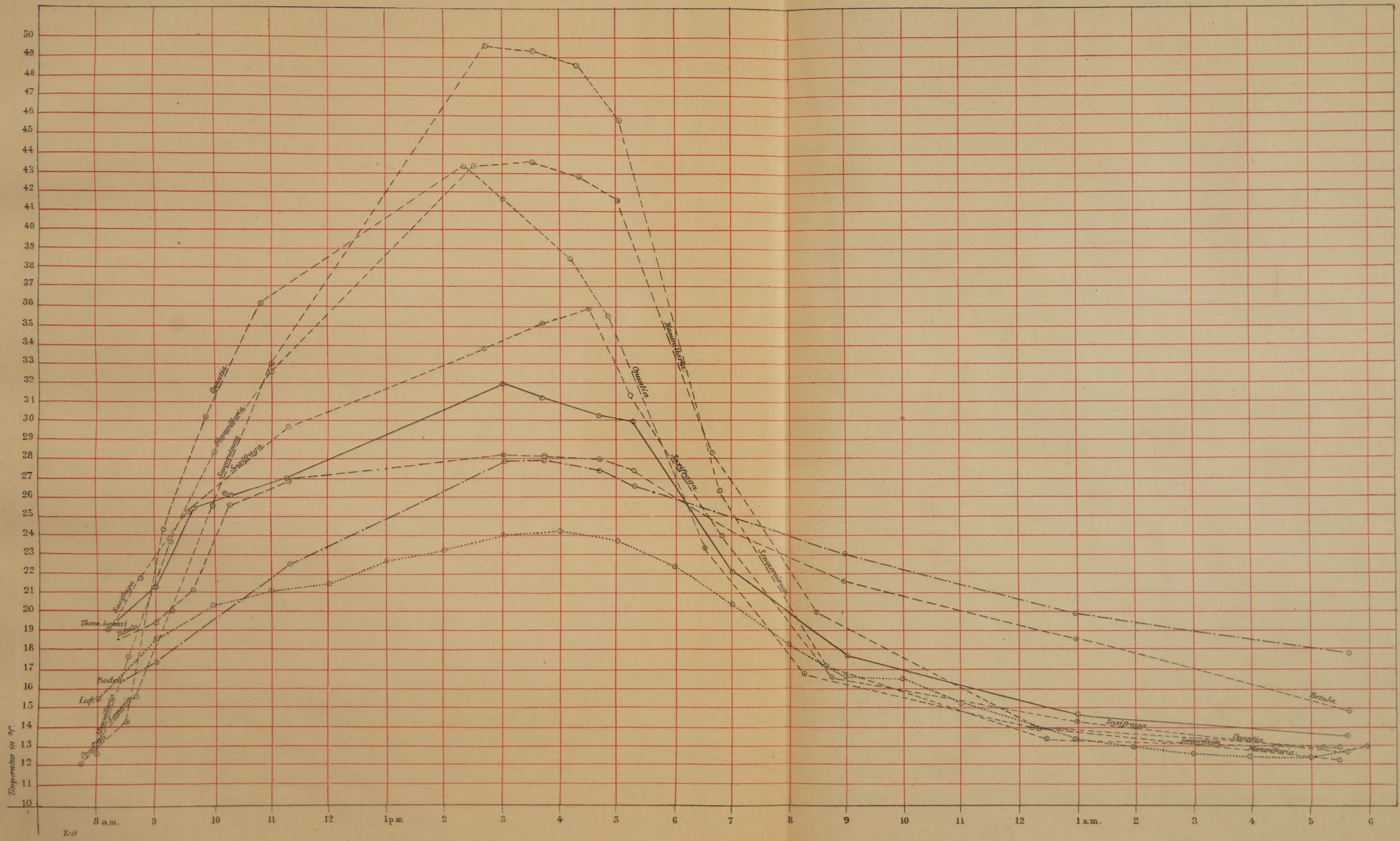
Tafel VIII b

Biegungsmoment

110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10

Liriodendron
Pop.balsamifera
Ginkgo
Pop.tremula 8
Pop.canum
Pop.tremula 9
Acer Pseudo. 13
Alnus
Ribes
Pop.nigra
Pop.alba
Tilia
Pop.tremula 7
Hedera, 16
Pop.pyram.
Hedera, 17
Sorbus
Babyla
Pop. Simoni
Fagus
Carpinus
Salix
Ilex

10 mm 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Stiellänge.


Temperatur in °C
50
49
48
47
46
45
44
43
42
41
40
39
38
37
36
35
34
33
32
31
30
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
8 a.m.
9
10
11
12
1 p.m.
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
1 a.m.
2
3
4
5
6
Zeit
Quercus
Saxifraga
Thermobarrt
Boden
Luft
Betula
Semperv.
Hamamelis
Saxifraga
Quercus
Hamamelis
Semperv.
Saxifraga
Quercus
Hamamelis
Semperv.
Saxifraga
Betula
Saxifraga
Semperv.
Quercus
Hamamelis

UNIVERSITY OF TORONTO
LIBRARY

Do not
remove
the card
from this
Pocket.

Acme Library Card Pocket
Under Pat. "Ref. Index File."
Made by LIBRARY BUREAU, Boston